



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

EVALUACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN DE GRASA HIDROGENADA POR ACEITE DE *CHÍA* (*Salvia hispánica* L), GRENETINA Y EMULSIONANTE EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS, MICROESTRUCTURALES Y CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS EN PANQUÉ

TESIS

Que para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS QUÍMICAS

Presenta:

M en C. A. LAURA ALEJANDRA SÁNCHEZ PAZ

Dirigida por:

Dr. Octavio Dublán García

Dr. César Pérez Alonso

Dra. Mayra Díaz Ramírez

Toluca de Lerdo Estado de México; noviembre 2018



Índice de figuras.....	5
Índice de Tablas	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN.....	9
I. ANTECEDENTES	10
<i>1. Importancia de los aceites y grasas</i>	<i>10</i>
<i>2. Composición y estructura de las grasas y aceites.....</i>	<i>10</i>
2.1 Ácidos grasos saturados	11
2.2 Ácidos grasos insaturados	12
2.2.1 Ácidos grasos monoinsaturados.....	12
2.2.2 Ácidos grasos poliinsaturados	12
3. Ácidos grasos y sus implicaciones en la salud.....	14
4. Grasas hidrogenadas.....	15
4.1 Margarinas	16
5. Aceites.....	17
5.1 Aceite de canola.....	17
5.2 Aceite de chía.....	17
6. Características de un panqué	18
7. Ingredientes y su funcionalidad	19
7.1 Grasa	19
7.2 Proteínas de la harina	21
7.3 Almidón	22
7.4 Azúcar.....	23
7.5 Huevo	23
7.6 Agua.....	24
8. Aditivos comúnmente empleados en panificación	24
8.1 Emulsionantes.....	24
8.2 Hidrocoloides	25
8.3 Proteínas	27
9. Proceso de gelificación	28
10. Aplicaciones de hidrocoloides como gelificantes.....	31
10.1 Grenetina	31
11. Importancia del proceso en la calidad del panqué	33
12. Alimentos funcionales	33

JUSTIFICACIÓN	34
HIPÓTESIS	35
OBJETIVOS	35
<i>Objetivo General.....</i>	<i>35</i>
<i>Objetivos específicos</i>	<i>35</i>
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
<i>Primera etapa</i>	<i>38</i>
Preparación del batido para panqué.....	38
Gravedad específica (SG)	39
Reología del batido	40
Viscosidad aparente (μ a)	40
Módulos viscoelásticos G' y G''	40
Microscopía electrónica de barrido (MEB).....	40
Microscopía confocal de barrido láser (CLSM).....	40
Firmeza	41
Porcentaje de humedad del panqué	41
<i>Segunda etapa</i>	<i>41</i>
Preparación del batido	41
Gravedad específica y reología del batido	41
Recuento del número y tamaño de burbujas de aire del batido.....	41
Volumen del panqué.....	41
Firmeza	42
Estructura de la miga	42
Evaluación sensorial	42
<i>Tercera etapa.....</i>	<i>42</i>
Preparación del batido	42
Gravedad específica	43
Propiedades reológicas.....	43
Volumen	43
Color	43
Firmeza	43
Análisis sensorial.....	43
Análisis proximal.....	44
Perfil de ácidos grasos	44
<i>Análisis estadístico</i>	<i>44</i>
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
<i>Primera etapa</i>	<i>44</i>
Determinación de gravedad específica	44
Determinación de viscosidad aparente.....	46
Determinación de módulos viscoelásticos.....	47
Microscopía electrónica de barrido (MEB).....	49
Microscopía confocal de barrido láser (CSLM).....	51
Firmeza	53
<i>Segunda etapa.....</i>	<i>53</i>
Gravedad específica	53

Viscosidad aparente.....	54
Módulos viscoelásticos G' y G''	55
Número y tamaño de burbujas en batido	56
Estructura de la miga	58
Perfil de textura en panqué	60
Determinación de humedad	61
Determinación de volumen del panqué.....	61
Evaluación sensorial	62
<i>Tercera etapa.....</i>	<i>63</i>
Gravedad específica	63
Reología del batido	65
Volumen	68
Firmeza	71
Color y estructura de la miga.....	71
Análisis sensorial.....	72
Análisis proximal.....	72
Perfil de ácidos grasos	73
CONCLUSIONES	73
REFERENCIAS	75
AGRADECIMIENTOS	81
ANEXOS	82
Anexo 1 Artículo científico publicado	82
Anexo 2 Artículo científico enviado	96

Índice de figuras

Figura 1	36
Figura 2	37
Figura 3	38
Figura 4	46
Figura 5	48
Figura 6	49
Figura 7	50
Figura 8	52
Figura 9	54
Figura 10	56
Figura 11	57
Figura 12	58
Figura 13	60
Figura 14	62
Figura 15	64
Figura 16	65
Figura 17	66
Figura 18	68
Figura 19	69
Figura 20	70
Figura 21	72

Índice de Tablas

Tabla 1. Ácidos grasos saturados comunes en grasas y aceites de la dieta	11
Tabla 2. Ácidos grasos n-6 importantes a nivel nutricional.....	13
Tabla 3. Ácidos grasos n-3 importantes a nivel nutricional.....	14
Tabla 4. Composición de ácidos grasos y lecitinas en aceites vegetales (g/100g)	17
Tabla 5. Formulación base para panqué	39
Tabla 6. Número de muestras Diseño factorial 2^3	39
Tabla 7. Formulaciones variando cantidad de aceite de canola-chía, y con y sin grenetina (1%).....	42
Tabla 8. Gravedad específica en batido y % de humedad en 8 formulaciones de panqué	45
Tabla 9. Gravedad específica (SG) y reología del batido adicionado de grenetina	54
Tabla 10. Número y tamaño de burbujas de aire incorporadas en el batido para panqué.....	57
Tabla 11. Análisis estructura de la miga de rebanadas de panqué	59
Tabla 12. Análisis estructura de la miga de rebanadas de panqué	61
Tabla 13. Análisis sensorial Prueba de Ranking	62
Tabla 14. Formulación panqué con diferente proporción de margarina y aceite de canola-chía (proporción 4:1) y grenetina.....	63
Tabla 15. Características físicas del panqué	64
Tabla 16. Prueba de ordenamiento (ranking test)	72
Tabla 17. Análisis bromatológico panqué.....	73
Tabla 18. Perfil de ácidos grasos	73

RESUMEN

En la primera etapa de este trabajo se evaluó la adición de aceite de chía (CH) 10%, grenetina (GRE) 0.5% y un agente emulsionante comercial EM 0.3%, (porcentaje en base al peso de harina) solos y en mezclas, en una formulación previamente reducida al 70% en margarina y adicionada de 50% de aceite de canola (formulación identificada como 30-50) sobre las propiedades reológicas y estructurales del batido y texturales del panqué. Los resultados mostraron que la adición de CH, GRE, EM en las cantidades y combinaciones propuestas no modificaron significativamente entre sí los parámetros de SG (gravedad específica), viscosidad aparente (μa) y módulos viscoelásticos (G' y G''), presentando todos ellos valores menores al control. En todos los casos se presentó un comportamiento pseudoplástico tipo Ley de potencia, predominando el módulo viscoso sobre el elástico ($\tan \delta > 1$). La mezcla de grasas sólida y líquida presentó una emulsión estable, logrando reducir la SG respecto al control. Además, mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), se observó una mejor distribución de las grasas en las formulaciones adicionadas de CH, GRE y/o EM, respecto al control y mediante microscopía óptica se observó un menor número y tamaño de burbujas de aire en el batido control respecto a los adicionados de CH, GRE y EM. Texturalmente, el parámetro más significativo en el panqué al adicionar grenetina fue la firmeza.

En la segunda etapa, se evaluó el efecto de la adición de diferentes concentraciones de grenetina (0, 0.75, 1.25 y 2.0%) en la fórmula previamente reducida en margarina (30-50), determinando SG, μa , módulos viscoelásticos número y tamaño de burbujas en el batido, estructura de la miga, perfil de textura, humedad y volumen del panqué, además de una evaluación sensorial para determinar la aceptabilidad del panqué. Se observó que la SG, μa y módulos viscoelásticos aumentaron conforme se aumenta la concentración de grenetina; de la misma forma se reduce el número y tamaño de burbujas. El panque obtenido no difiere significativamente en el contenido de humedad, sin embargo, al aumentar la concentración de grenetina, disminuyó proporcionalmente el volumen y la uniformidad de la miga y aumentó también la firmeza. Sensorialmente la fórmula más aceptada fue la adicionada de 1.25% de grenetina por la consistencia y humedad de la miga.

En la tercera etapa, se aumentó la adición de mezcla de aceite de canola-chía (90%), con y sin grenetina (1%), comparando con la muestra 30-50 y control, evaluando la SG y las propiedades viscoelásticas del batido con aumento gradual de temperatura (20 – 120°C), además de las propiedades del panqué como volumen, color, firmeza, análisis proximal y sensorial, evaluando finalmente el perfil de ácidos grasos a la muestra de mayor aceptación sensorial. La SG y módulos viscoelásticos disminuyeron respecto al control al aumentar la proporción de aceites. Los puntos de inflexión (cambio de fase) de los módulos G' y G'' durante el aumento de temperatura, no se modificaron por la adición de grenetina o aceite. El panqué adicionado de 90% de aceites, tiene un color más dorado, la miga es menos uniforme y firme comparado con el control. Finalmente, el panqué más aceptado sensorialmente fue el reducido 70% en margarina y adicionado de 50% de aceite de canola-chía más 1% de grenetina, con un balance de ácidos grasos W-6: W-3 de 1.4:1.

Palabras clave: panqué, margarina, aceite canola, aceite chia, grenetina, textura, reología, microestructura.

ABSTRACT

In the first stage of this work studied the addition of Chia Oil (CH) 10%, Gelatin (GRE) 0.5% and a commercial emulsifying agent in 0.3%, (percentage based on the weight of flour) alone and in mixtures, in a formulation previously reduced to 70% in margarine and added of 50% of canola oil (formulation identified as 30-50) on the rheological and structural properties of the batter and texture profile of the pound cake. The results shown that the addition of CH, GRE, EM in the quantities and combinations proposed did not change significantly between themselves the parameters of SG (specific gravity), apparent viscosity (μa) and viscoelasticity modules (G' and G''), presenting all of them less values to the control. In all cases, there was a pseudoplastic behavior type of Power Law, predominating the viscous module on the elastic ($\tan \delta > 1$). It was observed that the mixture of solid and liquid fats presented a stable emulsion, achieving to reduce the SG with respect to the control, furthermore, a better distribution of fats was observed by scanning electron microscopy (MEB), in the added formulations of CH, GRE and/or EM, with respect to the control and by optical microscopy, a smaller number and size of air bubbles were observed in the control with respect to the additions of CH, GRE and EM batter. The most significant parameter in the pound cake to add gelatin was the firmness.

In the second stage, there was evaluated the effect of the addition of different concentrations of gelatin (0, 0.75, 1.25 and 2.0 %) in the formula previously reduced in margarine (30-50), determining SG, μa , viscoelastic modules, number and size of bubble air in the batter, structure of the crumb, profile of texture, moisture and volume of the pound cake. Furthermore, to a sensory evaluation to determine the acceptability of a pound cake. It was noted that the SG, μa and modules increased as increases the concentration of gelatin; in the same way, it reduces the number and size of bubbles. The obtained pound cake does not differ significantly in the moisture content, however, when increasing the concentration of gelatin, decreased proportionately the volume and uniformity of the crumb and also increased the firmness. Sensorially, the most accepted sample was the addition of 1.25% of gelatin by the consistency and moisture of the crumb.

In the third stage, there increased the addition of canola-chia oil mixture (90%), with and without gelatin (1%), comparing with the sample 30-50 and control. Evaluating the SG and the viscoelastic properties of the batter with gradual increase in temperature, furthermore, the properties of the pound cake as volume, color, firmness, proximal and sensory analysis; finally evaluating the profile of fatty acids to the sample of higher sensory acceptance. The SG and viscoelastic modules diminished with regard to the control by increasing the proportion of oils. The inflection points (change of phase) of modules G' and G'' during the increase of temperature 20 to 120°C, were not modified by the addition of gelatin or oil. The added pound cake of 90% of oils, has a golden color, the crumb is less uniform and less firm compared to the control. Finally, the most sensorially accepted pound cake is the reduced 70% in margarine and added of 50% of canola-chia oil and 1% of gelatin, with a balance of fatty acids W-6: W-3 of 1.4:1.

Key words: pound cake, margarine, canola oil, chia oil, gelatin, textural, rheological, microstructure

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, los cambios en la dieta y los estilos de vida derivados de la industrialización, la urbanización, el desarrollo económico y la globalización del mercado han aumentado rápidamente, especialmente en los países en vías de desarrollo. Si bien se ha observado una mejora general del estándar de vida, esto ha venido acompañado de hábitos alimentarios no saludables y de un nivel de actividad física insuficiente (Navarro & Shi 2001). Los alimentos procesados han incorporado en la dieta, niveles elevados de sal, azúcar, grasas trans y saturadas, frente a un menor consumo de alimentos naturales ricos en vitaminas y ácidos grasos esenciales principalmente omega 3. El resultado ha sido el aumento de la prevalencia de Enfermedades No Transmisibles (ENT) relacionadas con la dieta en todos los grupos socioeconómicos, y dentro de ellas las Enfermedades Cardiovasculares (ECV), las cuales constituyen actualmente un problema de salud pública tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (Navarro & Shi 2001).

El desarrollo de formulaciones reducidas en grasa en productos de consumo tradicional, tales como pasteles, muffins, panqués, es un gran reto dado el rol importante de la grasa en los atributos de calidad del producto. Las propiedades sensoriales no son el único aspecto que determina la aceptación del consumidor, también ahora se preocupa por adquirir productos más sanos. Los consumidores son ahora conscientes de que una dieta alta en ácidos grasos saturados está ampliamente asociada a un aumento de colesterol que incrementa el riesgo de problemas cardiovasculares (Craig-Schmidt & Teodorescu, 2008).

La alimentación en el mundo occidental se caracteriza por un elevado consumo de grasas saturadas, ácidos grasos trans y ω -6, así como por una deficiencia en ácidos grasos ω -3. La relación ω -6: ω -3, recomendada por la FAO/OMS (2010), es de 2:1, siendo que, actualmente llega a ser 10:1 a 20:1. Por otra parte, la agricultura moderna ha logrado aumentar la producción de los granos tradicionales de cereales y oleaginosas (trigo, cebada, girasol, maíz, soja, entre otros), siendo elevada la dependencia de relativamente pocas especies vegetales y animales, lo que nos ubica en una situación muy precaria (Cordain 1999).

Las semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) son el recurso natural de origen vegetal con mayor contenido de ácidos grasos ω -3 (60% de ácidos grasos totales del aceite), además de ser una buena fuente de vitaminas, antioxidantes y fibra (Ayerza & Coates 2011), esto conlleva a evaluar su potencial aplicación en la industria alimentaria.

Tecnológicamente la sustitución de grasas saturadas por aceites vegetales que cumplan con la funcionalidad en el producto en cuanto a textura, sabor, y que además conserven sus propiedades bioactivas durante el procesamiento, está siendo estudiada. Se han realizado investigaciones sobre el efecto de la sustitución y reducción de grasas en pasteles, panqués, muffins, utilizando almidones modificados (Baixauli *et al.*, 2008), aceites adicionados más gomas y emulsionantes (Kumari *et al.*, 2011; Sowmya *et al.*, 2009), fibras (Kalinga & Mishra 2009), otras harinas (Luna *et al.*, 2013), mucílagos (Santos & Salas-Mellado, 2017), etc, obteniendo resultados aceptables.

El reemplazo de “shortenings” por aceites vegetales ha sido estudiado por Chung y Pomeranz (1983) y Harnet y Thalheimer (1979a). Dawson (1966), encontró que a mayor cantidad de “shortening”, disminuye la gravedad específica, mientras que aumenta la viscosidad, lo cual permite obtener un producto de mayor volumen y miga esponjada. Se ha estudiado el efecto de

diferentes gomas: arábica (Ar), xantana (Xn), carragenina (CG) e hidroxipropil metil celulosa (HPMC), en combinación con emulsionantes como monoestearato de glicerol (GMS) y estearoil lactilato de sodio (SSL), en las propiedades reológicas y características de un pastel sin huevo, observando buenas características cuando se combinan SSL e HPMC (Ashwini *et al.*, 2009).

Los hidrocoloides tienen atributos funcionales tales como retención de agua, viscosidad, capacidad de espumado, emulsificación, gelación, alta solubilidad que coadyuvan a mejorar la textura, mientras que los emulsionantes suavizan la miga y retardan la retrogradación (Dipjyoti & Suvendu 2010).

En este trabajo se evalúa el efecto de la adición de un hidrocoloide proteico no estudiado en batidos para panqué como es la grenetina, más una mezcla de aceite de canola-chía en las propiedades reológicas y microestructurales del batido, textura y sensoriales de una formulación de panqué reducida en margarina, que tiene como finalidad reducir las grasas saturadas o parcialmente hidrogenadas (trans), además de mejorar el balance de ácidos grasos omega 6: omega 3, sea aceptado sensorialmente.

I. ANTECEDENTES

1. Importancia de los aceites y grasas

Los aceites vegetales comestibles constituyen un componente importante en nuestra alimentación, cuya variedad y consumo depende de la disponibilidad de la materia prima en cada país y región. Su importancia radica en su alto valor energético, el cual permite el máximo almacenamiento en la menor cantidad posible de sustancia alimenticia. Además, las grasas pueden ser vehículo de las vitaminas liposolubles y fuente de ácidos grasos esenciales, los cuales son indispensables para el organismo (Damodaran *et al.*, 2007).

Por otra parte, es reconocido el aporte de los lípidos en la salud, el cual está determinado fundamentalmente por su composición. Así, se ha demostrado que tanto el perfil de ácidos grasos especialmente los niveles relativos de ácidos grasos ω -9, ω -6 y ω -3 como algunos componentes minoritarios ejercen una influencia positiva a nivel fisiológico en el organismo humano (Moreau & Kamal-Eldin 2009).

Las grasas proporcionan una consistencia suave y cremosa, incidiendo en la palatabilidad de los alimentos, lo cual se traduce en una agradable sensación bucal. El mejoramiento del sabor es el motivo principal por el cual los aceites y grasas han sido apreciados durante largo tiempo (Cauvain & Young 1998).

2. Composición y estructura de las grasas y aceites

A fin de comprender las reacciones que involucran a las grasas y aceites, así como para poder influir sobre sus características y comportamiento durante el procesamiento, es importante conocer las propiedades de los mismos. Los aceites y grasas más comunes están compuestos por un número pequeño de unidades constitutivas principales, motivo por el cual la mayoría de las diferentes

características puede atribuirse a la presencia de componentes menores y a la inmensa cantidad de posibles combinaciones de estas unidades de construcción (Damodaran *et al.*, 2007)

Las grasas son ésteres de ácidos grasos con el glicerol. Debido a la estructura simétrica de la molécula de glicerol, existen dos posiciones idénticas exteriores (1, 3) y una posición central (2), en las cuales se esterifican los ácidos grasos. El tipo de ácido graso, así como su distribución en estas posiciones, determina las características del triacilglicerol. Así, no sólo es de gran importancia la composición acídica sino también la estructura de los triacilgliceroles la cual da origen a la respectiva composición triacilglicerídica (Damodaran *et al.*, 2007)

2.1 Ácidos grasos saturados

Estos ácidos presentan la fórmula general R-COOH. Se clasifican además en cuatro subgrupos según la longitud de su cadena: corta, media, larga o muy larga.

- Ácidos grasos de cadena corta: de 3 a 7 átomos de carbono.
- Ácidos grasos de cadena media: de 8 a 13 átomos de carbono.
- Ácidos grasos de cadena larga: de 14 a 20 átomos de carbono.
- Ácidos grasos de cadena muy larga: con 21 o más átomos de carbono.

En la Tabla 1. se muestran algunos de los ácidos grasos saturados (SFA) de la dieta más comunes, los cuales proceden principalmente de grasas animales y lácteas. También se han observado niveles considerables de SFA en algunos aceites tropicales, especialmente en los aceites de palma y de coco.

Tabla 1. Ácidos grasos saturados comunes en grasas y aceites de la dieta

Nombre común	Nombre sistemático	Abreviatura	Fuentes principales
Butírico	butanoico	C4:0	Grasa láctea
Caproico	hexanoico	C6:0	Grasa láctea
Caprílico	octanoico	C8:0	Grasa láctea, aceites de coco y de palma.
Cáprico	decanoico	C10:0	Grasa láctea, aceites de coco y de palma.
Láurico	dodecanoico	C12:0	Aceite de coco, aceite de palma.
Mirístico	tetradecanoico	C14:0	Grasa láctea, aceite de coco, aceite de palma.
Palmítico	hexadecanoico	C16:0	La mayoría de grasas y aceites.
Esteárico	octadecanoico	C18:0	La mayoría de grasas y aceites.
Araquídico	eicosanoico	C20:0	Aceite de cacahuete.
Behénico	docosanoico	C22:0	Aceite de cacahuete.
Lignocérico	tetracosanoico	C24:0	Aceite de cacahuete.

Grasas y ácidos grasos en nutrición humana: Consulta de expertos FAO/OMS 2010.

2.2 Ácidos grasos insaturados

Estos ácidos también se clasifican en tres subgrupos según la longitud de su cadena. La Consulta de Expertos FAO/WHO recomienda las siguientes definiciones:

- Ácidos grasos insaturados de cadena corta: con 19 o menos átomos de carbono.
- Ácidos grasos insaturados de cadena larga: de 20 a 24 átomos de carbono.
- Ácidos grasos insaturados de cadena muy larga: con 25 o más átomos de carbono.

2.2.1 Ácidos grasos monoinsaturados

El ácido oleico (OA) es el más común y está presente en cantidades considerables en fuentes tanto de origen animal como vegetal

2.2.2 Ácidos grasos poliinsaturados

De acuerdo a su relevancia en la salud y nutrición humana, el ácido linoleico (LA) es el ácido graso esencial primario o generador de la familia n-6. Posee 18 átomos de carbono y dos dobles enlaces. Además, el primer doble enlace se encuentra a 6 átomos de carbono del extremo metilo de la cadena de ácidos grasos, y este es el motivo de que se denomine W-6. El ácido α -linolénico (ALA) es el ácido graso esencial primario o generador de la familia n-3. Cuenta igualmente con 18 átomos de carbono, pero posee tres dobles enlaces. A diferencia del LA, el primer doble enlace del ALA se encuentra en el tercer átomo de carbono partiendo del extremo metilo de la cadena de ácidos grasos, y de ahí el nombre de W-3. Al igual que el LA, el ALA también puede ser desaturado y alargado para formar series de PUFA W-3 (Ver Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Ácidos grasos n-6 importantes a nivel nutricional

Nombre común	Nombre sistemático	Abreviatura omega componente en cantidad mínima de tejidos animales	Fuentes principales
Ácido linoleico	ácido <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 -octadecadienoico	18:2n-6 (LA)	la mayoría de aceites vegetales
Ácido γ -linolénico	ácido <i>cis</i> -6, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 -octadecatrienoico	18:3n-6 (GLA)	aceites de semillas de onagra, borraja y grosella negra
Ácido dihomo- γ - linolénico	ácido <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14 - eicosatrienoico	20:3n-6 (DHGLA)	componente en cantidad mínima de tejidos animales
Ácido araquidónico	ácido <i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14-eicosatetraenoico	20:4n-6 (AA)	grasas animales, hígado, lípidos del huevo, pescado
Ácido docosatetraenoico	ácido <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16-docosatetraenoico	22:4n-6	componente en cantidad mínima de tejidos animales
Ácido docosapentaenoico	ácido <i>cis</i> -4, <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16- docosapentaenoico	25:5n-6 (DPA)	componente en cantidad mínima de tejidos animales

Grasas y ácidos grasos en nutrición humana: Consulta de expertos FAO/OMS 2010.

El LA y el ALA se encuentran en todas las grasas de la dieta y presentan mayores proporciones en la mayoría de los aceites vegetales (Guiotto, 2014). El ALA se encuentra sobre todo en las plantas y presenta mayores concentraciones en algunas semillas y frutos secos y en algunos aceites vegetales. El ácido araquidónico (AA) es el PUFA n-6 más importante de todos los ácidos grasos n-6 porque es el precursor principal de los eicosanoides derivados de la familia n-6. El AA se encuentra en menor cantidad en carnes, huevos, pescado, algas y otras plantas acuáticas (Ackman, 2008a). El ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) son los ácidos grasos n-3 más importantes de la nutrición humana. El EPA y el DHA son componentes de los lípidos marinos. De hecho, la caballa, el salmón, la sardina, el arenque y el eperlano son fuentes muy ricas en EPA y DHA (Ackman, 2008a). Los aceites de pescado que contienen un 60 % de EPA y DHA se venden como fuentes de estos importantes ácidos grasos n-3.

Ya se encuentran disponibles aceites de algas y otros aceites de fuentes unicelulares que proporcionan EPA+DHA+AA. Además, los aceites modificados genéticamente, producidos mediante manipulación genética de la soja y otras plantas, se están desarrollando actualmente y estarán disponibles en un futuro cercano.

Tabla 3. Ácidos grasos n-3 importantes a nivel nutricional

Nombre común	Nombre sistemático	Abreviatura omega componente en cantidad mínima de tejidos animales	Fuentes principales
Ácido α -linolénico	ácido <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12- <i>cis</i> -15-octadecatrienoico	18:3 n-3 (ALA)	aceites de lino, perilla, canola y soja
Ácido estearidónico	ácido <i>cis</i> -6, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-octadecatetraenoico	18:4 n-3 (SDA)	aceites de pescado, aceite de soja modificado genéticamente, aceite de semilla de grosella negra y aceite de cáñamo
	ácido <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14, <i>cis</i> -17-eicosatetraenoico	20:4 n-3	componente en cantidad mínima de tejidos animales
Ácido eicosapentaenoico	ácido <i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14, <i>cis</i> -17-eicosapentaenoico	20:5 n-3	(EPA) pescado, especialmente el azul (salmón, arenque, anchoa, eperlano y caballa)
Ácido docosapentaenoico	ácido <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16, <i>cis</i> -19-docosapentaenoico	22:5 n-3 (n-3 DPA)	pescado, especialmente el azul (salmón, arenque, anchoa, eperlano y caballa)
Ácido docosahexaenoico	ácido <i>cis</i> -4, <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16, <i>cis</i> -19-docosahexaenoico	22:6 n-3 (DHA)	pescado, especialmente el azul (salmón, arenque, anchoa, eperlano y caballa)

Grasas y ácidos grasos en nutrición humana: Consulta de expertos FAO/OMS 2010.

Además de los ácidos grasos mencionados, la dieta humana incluye ácidos grasos trans, los cuales provienen de depósitos de rumiantes y grasas lácteas, así como de alimentos preparados a partir de aceites parcialmente hidrogenados (Craig-Schmidt & Teodorescu 2008), aunque esta última fuente es la que predomina. En los últimos años, los investigadores han centrado su atención en los ácidos grasos de la dieta secundarios y poco comunes tales como los isómeros del ácido linoleico conjugado (CLA) (Tricon *et al.*, 2005), los isómeros del ácido linolénico conjugado (CLN) (Tsuzuki *et al.*, 2004) y los ácidos grasos con un anillo de furano (Spiteller 2005), debido a sus efectos potencialmente beneficiosos para la salud.

3. Ácidos grasos y sus implicaciones en la salud

Los lípidos son nutrientes importantes en la dieta, destacando los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LCPUFA), ya que tienen un rol estructural en los fosfolípidos de las membranas celulares y son sustratos para la síntesis de diversos mediadores en procesos inflamatorios,

patologías infecciosas e inmunidad (Valenzuela *et al.*, 2011). Destacan los ácidos grasos esenciales W-3 y W-6, precursores del EPA y DHA.

De acuerdo a estudios recopilados por la FAO (2010), los ácidos grasos saturados láurico (C12:0), mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0) incrementan el colesterol de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) mientras que el ácido esteárico (C18:0) no tiene este efecto. Sustituir los ácidos grasos saturados (SFA) (C12:0-C16:0) por ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) disminuye la concentración del colesterol de las LDL y la relación colesterol total/ colesterol lipoproteínas de alta densidad (HDL). Al sustituir los SFA por ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) se consigue un efecto similar pero menor. Sustituir los SFA (C12:0-C16:0) por ácidos grasos trans (TFA) disminuye el colesterol de las HDL e incrementa la relación colesterol total/colesterol HDL. Hay una evidencia convincente de que la sustitución de SFA por PUFA disminuye el riesgo de enfermedad coronaria (CHD) (Nicolosi, Stucchi, & Kow, 1990). El ácido docosahexaenoico (DHA) ha sido el único ácido graso n-3 utilizado como componente estructural y funcional importante de los fotorreceptores, las neuronas y sus sinapsis de señalización. El DHA puede ser sintetizado a partir del ácido α -linolénico (ALA) (Brenna, 2002), pero el proceso parece ser muy poco eficiente. Por tanto, se puede argumentar que el balance objetivo de PUFA n-6 a n-3 en la dieta debería ser entre 2:1 y 1:1.

4. Grasas hidrogenadas

A fines del siglo XIX se produjo un cambio drástico en la composición de las materias grasas empleadas para la alimentación, debido al desarrollo de un proceso que permitió convertir los aceites en grasas sólidas o semisólidas, causando una revolución en las industrias de alimentos de los países desarrollados. En este proceso, conocido como hidrogenación parcial, el aceite a alta temperatura se expone a gas hidrógeno en presencia de un catalizador metálico como níquel. La reacción principal es la incorporación de átomos de hidrógeno a los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados que componen los triglicéridos (TAG), a fin de formar ácidos grasos saturados (AGS), los cuales predominan en las grasas. Paralelamente, ocurren reacciones secundarias como la isomerización de los dobles enlaces *cis* a la configuración *trans* que es más estable. El número, posición y geometría de los dobles enlaces afecta la velocidad de oxidación de los aceites. Las menores energías de disociación asociadas a hidrógenos unidos a carbonos se encuentran entre dobles enlaces adyacentes. Por lo tanto, éstos son los sitios más favorecidos termodinámicamente para ser atacados por los radicales peroxilo, por ello a mayor grado de insaturación la velocidad de oxidación es mayor. Por otra parte, los isómeros *cis* se oxidan más rápidamente que los *trans*, la longitud de la cadena del ácido graso no tiene efecto aparente en la velocidad o extensión de la formación de radicales y los ácidos grasos libres se oxidan a mayor velocidad que los esterificados.

Las condiciones en las que se lleva a cabo la hidrogenación determinan la proporción de isómeros *trans* del producto, así también como su aplicabilidad para la obtención de margarinas, grasas para freír o shortenings para panificados. Con el paso del tiempo la hidrogenación de aceites fue una tecnología que se consolidó. Los productos obtenidos tenían alta estabilidad oxidativa, lo que mejoraba sus características organolépticas y su vida media, y un mayor contenido de sólidos que aumentaba la temperatura de fusión de la materia grasa confiriéndole mayor textura y funcionalidad (Kodali & List 2005).

El aceite vegetal más comúnmente usado es el aceite de soya. Es líquido a temperatura ambiente y de bajo color, contiene una gran cantidad de aceites insaturados (60%) se usa comúnmente para mezclas de grasas. Otros aceites usados son el aceite de canola, algodón, girasol, maíz, coco y palma. Este último se utiliza mucho para panificación y su uso se ha incrementado considerablemente últimamente debido al menor costo y rendimiento de los cultivos (Damodaran *et al.*, 2007). En la última década el aumento del conocimiento sobre el efecto biológico de las grasas en el organismo dejó ver que los productos obtenidos por hidrogenación tenían efectos nocivos y que el consumo excesivo de lípidos “malos” como los saturados y los trans podían provocar enfermedades y aumentar el riesgo de mortalidad (Gunstone 2001). A nivel sanguíneo, las grasas trans incrementan las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y los triglicéridos y reducen los beneficios de las lipoproteínas de alta densidad (HDL). Investigaciones recientes han demostrado una conexión directa de las grasas trans con enfermedades cardiovasculares, cáncer de mama y de colon, alteración del sistema nervioso y de la visión en infantes, diabetes, obesidad y alergias (Dhaka *et al.*, 2011).

En junio de 2017, la FDA (Food and Drug Administration) determinó que los aceites parcialmente hidrogenados ya no pertenecían al grupo “GRAS” (generally recognized as safe) y debían ser removidos del mercado para junio de 2018. En respuesta a estas nuevas regulaciones y a los cambios de preferencias de los consumidores, los científicos se han dado a la tarea de buscar alternativas tecnológicamente viables.

Tanto los trans como los saturados tienen el mismo efecto sobre el incremento del colesterol total, pero, además, los trans reducen los niveles de colesterol-HDL y aumentan los triglicéridos. Los trans se originan por tres vías principales: transformación bacteriana de ácidos grasos insaturados en los rumiantes (leche, mantequilla, otros derivados lácteos y carne), hidrogenación parcial (proceso para aumentar los cristales lipídicos en las grasas insaturadas) y refinado de aceites vegetales y de pescado cuando se calientan a altas temperaturas.

4.1 Margarinas

Las margarinas 100% vegetales se obtienen a partir de grasas con un elevado porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados. Su ingrediente mayoritario son los aceites vegetales como los de maíz, girasol, soja, linaza y oliva. El segundo ingrediente más importante de las margarinas es el agua. Con la materia grasa y el agua se forma la emulsión. Las grasas vegetales le aportan sólidos necesarios para conseguir la textura característica de la margarina. Los emulsionantes (aditivos alimentarios) permiten que el agua y el aceite, líquidos inmiscibles, permanezcan unidos, debido a su naturaleza anfifílica, además de conseguir un producto con menos grasa y menos calorías, al permitir adicionar mayor cantidad de líquidos y formar batidos más estables con una fina y más uniforme dispersión de las fases de grasa y aire. Los emulgentes más empleados son mono y diglicéridos y la lecitina.

En algunos casos, la reformulación de las margarinas para eliminar las grasas trans, consiste en incrementar las grasas saturadas para lograr la consistencia y estabilidad deseada, sin embargo, esta modificación no contribuye a tener un producto más saludable (WHO, 1994).

Si en un producto de panificación, las grasas saturadas se reemplazan simplemente por aceites vegetales que contienen ácidos grasos esenciales, la estructura final del producto no cumple la calidad esperada por los consumidores (Mensink *et al.*, 2016; Doan *et al.*, 2018).

5. Aceites

5.1 Aceite de canola

Los aceites vegetales están compuestos, mayoritariamente, por triglicéridos, es decir, glicerol esterificado con tres moléculas de ácidos grasos. Además, pequeñas cantidades de componentes no triglicéricos, como los fosfolípidos, esteroides, tocoferoles, carotenoides, clorofilas, mono y diglicéridos y ácidos grasos libres pueden estar presentes en diferentes cantidades conforme las características y calidad de la materia prima de origen.

El aceite de canola tiene una proporción importante de ácido oleico y linoleico que imparten estabilidad a la oxidación. Este aceite, en comparación con otros aceites comestibles tales como el de girasol, maíz, soja y palma, presenta la menor concentración de ácidos grasos saturados (6%), una alta concentración de monoinsaturados (61%) y de ácidos grasos poliinsaturados (29 %), con alto contenido de ácidos grasos esenciales (AGE), el ácido linoleico (C18:2 n-6) (20%) y α -linolenico (C18:3 n-3) (9 %), y la más baja relación n-6/n-3, lo cual lo convierte en un aceite benéfico para prevenir y controlar enfermedades promovidas por la inflamación, tales como artritis reumatoide (Giacopini 2012)

Tabla 4. Composición de ácidos grasos y lecitinas en aceites vegetales (g/100g)

		C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	Otros
Soja	Lecitina	16	4	17	55	7	1
	Aceite	11	4	23	54	8	0
Girasol	Lecitina	11	4	18	63	0	4
	Aceite	7	5	29	58	0	1
Canola	Lecitina	7	1	56	25	6	5
	Aceite	4	2	61	22	10	1

Dijkstra A J (2011).

5.2 Aceite de chía

De la semilla de chía se obtiene aproximadamente un 33% de aceite, cuya composición aproximada de ácidos grasos es: palmítico 6.7%, esteárico 3.3%, oléico 7.5%, linoléico 19.6, α -linolénico (62-64%) (Ayerza & Coates 2011). En lo que respecta al enriquecimiento de alimentos con ω -3, la chía no presenta ni transmite el característico “olor a pescado”, la estabilidad de dichos ácidos grasos ω -3 es otorgada por los antioxidantes naturales presentes en la semilla (Silveira & Salas-Mellado 2015). La composición química y el valor nutricional asociado, le confieren un gran potencial para incorporarlo en la industria alimentaria.

El EPA y DHA se oxidan más rápidamente que el ácido linoleico, α -linolénico y araquidónico, originando productos de oxidación de importancia toxicológica (Freese & Mutanen 1997). La

evidencia científica muestra que tanto EPA como DHA pueden ejercer efectos benéficos en cuanto a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, sólo si la protección contra el estrés oxidativo es suficiente para minimizar el daño a nivel tisular (Song *et al.*, 2000).

La elevada actividad antioxidante encontrada en la cáscara de la semilla, es atribuible a la presencia de los compuestos polifenólicos, principalmente los ácidos cafeico y clorogénico (Taga *et al.*, 1984) y la quercetina, la cual es uno de los compuestos más potentes y estables para los cuales se ha evaluado la actividad antioxidante (Huang *et al.*, 2005). En el caso de esta investigación el aceite de chía es obtenido por prensado en frío sin filtrado ni refinado posterior por lo que contiene parte de estos antioxidantes, que se extraen también durante el prensado.

6. Características de un panqué

Los primeros pasteles conocidos como tales fueron hechos mezclando harina, huevos, grasa y azúcar conocidos como pound cakes o pasteles de a libra debido a la proporción de sus ingredientes y a los cuales se les conoce como el pastel primario. Este producto se elaboraba con cantidades iguales (1 libra) de harina, mantequilla, azúcar y huevo. Con el tiempo se han ido modificando las proporciones de los ingredientes disminuyendo huevo y grasa y modificando los métodos de mezclado de modo que se logran mejoras en la textura, tamaño de miga, volumen, además de reducir costos. En los años 30's en Estados Unidos se introdujo la harina pastelera obtenida de trigos suaves con un contenido de proteína de 7 a 9%, contenido de cenizas 0.3%, clorinadas y blanqueadas con peróxido de benzoilo, que toleran niveles más altos de líquidos, que las harinas convencionales, dando pasteles de mejor calidad. El desarrollo de nuevas grasas y emulsificantes permitió adicionar mayor cantidad de líquidos lo que formaba batidos más estables con una fina y más uniforme dispersión de las fases de grasa y aire de lo que era posible con grasas no emulsificadas. Esto permitió a los pasteleros elaborar productos ricos en ingredientes con cantidades mayores de humedad y una mayor vida de anaquel, a estos pasteles se les denominaron de alto radio o de alta absorción (Cauvain & Young 1998).

La estructura de la miga de los pasteles basados en grasa se deriva de la emulsión líquido-grasa formada durante el procesamiento, también conocidos como pasteles tipo batter o batidos. Los batidos dependen de la cantidad de huevo, harina y leche para formar la estructura, contienen cantidades elevadas de grasa, y el volumen se debe en gran parte a la adición de leudante.

Un batido para panqué es una emulsión compleja. Harina, grasa, azúcar, huevo y agente leudante, son los principales ingredientes usados en su elaboración; cada ingrediente tiene una función importante en la estructura del panqué. El objetivo del mezclado, es incorporar todos los ingredientes para formar un batido uniforme y suave que resulta en una emulsión estable de aceite en agua (O/W) con incorporación de pequeñas y abundantes burbujas de aire, importantes en la textura y volumen del panqué cuya gravedad específica deseada es de 0.83 - 0.97 (Conforti & Canterella 1998).

Las variedades de pasteles y su clasificación no dependen únicamente de sus ingredientes sino de la forma en que estos son mezclados o procesados.

7. Ingredientes y su funcionalidad

7.1 Grasa

“Las grasas se utilizan en pastelería principalmente por la suavidad que imparten a los productos. El efecto suavizante se debe a la capacidad de la grasa para lubricar la estructura del producto horneado por dispersarse en forma de películas y glóbulos en el batido pastelero, inhibiendo así la formación de redes tridimensionales muy rígidas de gluten, y lubricando los geles de almidón” (American Institute of Baking 1994).

La Margarina consiste en una emulsión de agua en grasa, y esto significa que el 80% de esta, son aceites o grasas hidrogenadas y el 16 % es agua, quedando el 4% para la adición de emulsionantes, colorantes, aditivos, aromas, vitaminas y algún otro ingrediente que, cada fabricante pone para personalizar su producto. Se utilizan para la elaboración de Hojaldres, Croissant y Cremas Pasteleras (Dijkstra 2011).

El Shortening, este término se utiliza en EE.UU. para designar las grasas plásticas comestibles. Consiste en una mezcla de grasas hidrogenadas y no hidrogenadas, de puntos de fusión alto y bajo, en proporciones que dependen de los distintos márgenes de plasticidad. Se utilizan para productos de repostería que necesiten ser fácilmente desgranables (Dijkstra 2011).

La principal diferencia de una grasa a otra consiste en que la Margarina tiene agua en su composición y el shortening no.

El denominador común es la utilización de grasas tanto animales como vegetales, sometidas a hidrogenación para controlar su punto de fusión “La plasticidad de la grasa es un factor de gran importancia para establecer el poder lubricante. Entre más suave sea, son mejores sus características lubricantes en relación a las grasas más duras. Por otra parte, los aceites, exhiben poca capacidad lubricante, debido a que su falta de plasticidad tiende a favorecer su dispersión en forma de glóbulos, y no de películas” (Bennion & Bamford 1977).

La comestibilidad representa un atributo esencial en los alimentos. El concepto de comestibilidad sobre varias impresiones sensoriales, como aroma, gusto y sensaciones cutáneas. El sabor, olor, suavidad, humedad y otras propiedades de los productos de panificación son factores decisivos que gobiernan la aceptación o rechazo del producto por el consumidor. Las grasas hacen también posible el uso de altas proporciones de ingredientes enriquecedores, como huevo, leche, azúcar, etc. Finalmente, si las grasas tienen sabor, como la mantequilla y algunos lardos, contribuyen significativamente a las características organolépticas del producto (Bennion & Bamford 1977).

La conservación del producto es una medida del grado en que retiene las características de frescura a lo largo de un período de tiempo. El tiempo en que un producto esté razonablemente fresco varía de acuerdo a su formulación y método de producción, pero se ha encontrado una relación directa con la cantidad de grasa (Juárez 2012). Grandes cantidades de grasa tienden a disminuir los mecanismos de envejecimiento, como pérdida de humedad, suavidad y sabor (Juárez 2012).

La propiedad emulsificante de una grasa pastelera es su capacidad para dispersarse por todo el batido en forma de glóbulos de un tamaño y forma deseable, ya que se adicionan ácidos grasos de cadena corta con propiedades anfifílicas (emulsionantes). Los mejores productos disponibles en este momento para la elaboración de pasteles son las grasas hidrogenadas y los tipos especiales de grasas hidrogenadas emulsificadas. La mantequilla, debido a sus características de sabor, tiene un

valor considerable, aunque sus propiedades de cremado son algo deficientes y deben complementarse combinando con grasas que cremen mejor (American Institute of Baking 1994).

Existen por supuesto, varios métodos de mezclado de batidos para pastel. Estos incluyen el método convencional de cremado, el método de una sola etapa, el método de mezclado de tres etapas, etc. Dependiendo de la necesidad de atrapar al aire en la grasa mediante una agitación adecuada. Produce poca diferencia el método que se use para el mezclado del batido para pastel en tanto la grasa se bata el tiempo suficiente para asegurar una distribución y aereación apropiada.

La grasa es un ingrediente que no sufre cambios drásticos durante el horneado. La adición de agentes emulsificantes incrementa el grado de dispersión de la grasa. Esto se caracteriza por un gran número de partículas de grasa por unidad de área y una disminución del tamaño individual de las partículas. La adición de agentes emulsificantes arriba de 5 a 6% de la cantidad de grasa resulta en el máximo incremento de volumen del pastel, sin embargo, cuando el nivel de emulsificante excede al 8 a 9% de la grasa, produce una dispersión excesiva y disminuye el volumen del pastel (Charley *et al.*, 2004).

Las grasas se dispersan a través del batido en forma de pequeñas “lagunas”. El tamaño de estas partículas dispersas está determinado por las propiedades emulsificantes de la grasa. Normalmente las grasas que se dispersan de manera no uniforme producen batidos de pastel “cortados” y los pasteles tienden a encogerse” (Bennion & Bamford 1977).

En un pastel tipo batido, el método tradicional es cremar la grasa con el azúcar incorporando aire en pequeñas burbujas finamente distribuidas. Una vez que se ha formado la crema, se adiciona el huevo y los líquidos junto con una parte de la harina, alternativamente, para terminar con el resto de la harina. Esto permite a las partículas de grasa - aire distribuirse uniforme y finamente en el batido. Entre más fina sea la distribución de grasa y aire, mejor será la estructura de la miga y el volumen del pastel. Durante el horneado, la grasa se separa de las burbujas de aire, las cuales se quedan en la fase acuosa más viscosa para producir una espuma la cual se estabiliza por la proteína del huevo para prevenir la coalescencia de las burbujas de aire, actuando como núcleo para las burbujas de dióxido de carbono y vapor de agua para incrementar el volumen del batido. Arriba de los 65°C la gelatinización del almidón y la coagulación de la proteína del huevo se suceden durante la expansión constante de las burbujas de aire y a 95°C la estructura se fija (Charley *et al.*, 2004).

La grasa en el batido de pastel no solo favorece la incorporación de aire, también brinda propiedades de emulsificación y retiene considerables cantidades de líquidos lo cual incrementa y extiende la suavidad del pastel, ya que interrumpen la continuidad del gluten suavizando la miga (Charley *et al.*, 2004). Los emulsificantes tienen una función muy importante en la manufactura de pasteles, pueden ser adicionados a la grasa o directamente al batido. La adición de un emulsificante en la grasa mejora sus propiedades emulsivas, generando una mayor viscosidad y mejor estabilidad, con una mejor distribución del aire. Esto resultará en un pastel más húmedo, con mayor volumen, también permite hacer cambios en la formulación, tales como un incremento de agua y azúcar, reducir niveles de huevo y obtener pasteles más ligeros, dulces y más húmedos con mayor vida de anaquel, esto ha llevado al desarrollo de grasas de “alto radio”, donde se agrega 8 % de mono glicéridos permitiendo manejar altos niveles de humedad y azúcar en la formulación (Charley *et al.*, 2004).

Los estudios hechos sobre estabilización y aireación muestran que los emulsificantes tienen un rol muy importante y el estado físico del emulsificante tiene una influencia muy marcada en el batido. De esta forma los hidratos de emulsificantes han sido usados por muchos años para mejorar la aireación en los batidos, particularmente en los pasteles de esponja con muy poca o libres de grasa.

Ha sido demostrado que el uso de estos geles en batidos de pasteles da una mejor y uniforme distribución de aire que las grasas que contienen mono y diglicéridos. La más fina distribución de aire aumenta la viscosidad lo cual lleva a un mejor volumen y textura (Charley *et al.*, 2004).

7.2 Proteínas de la harina

Las proteínas de la harina (Gluten: gliadinas y gluteninas), aportan elasticidad al batido, esta propiedad les permite retener el aire incorporado durante el batido ya que durante el horneó éstas junto con las proteínas del huevo (albúminas) coagulan, mientras que el almidón gelatiniza, la función estructural de estos componentes aporta la firmeza al producto (Charley *et al.*, 2004).

El ácido glutámico forma aproximadamente el 40 % del total de las proteínas de la harina. La mayor parte de este aminoácido está presente no con su segundo grupo carboxilo libre, sino como una amida, y como tal está disponible para la formación de puentes de H con los oxígenos de los grupos hidroxilo, carboxilo y carbonilo de las proteínas y de otras moléculas. Le sigue en concentración la prolina que forma aproximadamente el 14 % del total de aminoácidos en el gluten. El bajo contenido de aminoácidos (aa) básicos y más bajo aún de los aa ácidos, dan lugar a una carga baja en el gluten. Se dan escaso número de enlaces hidrofóbicos (Van der Waals) en medio acuoso. Aproximadamente el 2% de los aa son cistina, cuyas moléculas contienen enlaces S-S (Damodaran *et al.*, 2007).

Las gliadinas aportan viscosidad y las gluteninas elasticidad, (propiedades reológicas) un balance adecuado de elementos elástico y viscoso es esencial en las características de un pan o pastel (Charley *et al.*, 2004).

Tradicionalmente, las proteínas de los cereales se han clasificado en cuatro grupos de acuerdo a su solubilidad. Esta clasificación fue establecida por primera vez por Osborne (1907). Así, definió: albúminas, como las proteínas solubles en agua; globulinas, solubles en soluciones salinas diluidas; prolaminas, proteínas solubles en etanol 70% v/v, y las glutelinas, que se solubilizan en soluciones ácidas o básicas diluidas. La mayoría de las enzimas del grano se encuentran incluidas en el grupo de las albúminas y globulinas. Ambos grupos están concentrados en las células de la aleurona, en el germen y el salvado, mientras que su concentración es relativamente baja en el endosperma (Badui 2015).

Las prolaminas y glutelinas son las proteínas de reserva de los cereales. Se encuentran limitadas al endospermo, y su presencia es casi nula en el pericarpio o el germen. Nutricionalmente, las prolaminas son pobres en lisina, metionina y triptófano; mientras que las glutelinas presentan mayor variabilidad en la composición aminoacídica (Badui 2015).

En el trigo, las prolaminas (que reciben el nombre particular de gliadinas) y las glutelinas (particularmente, gluteninas) conforman el gluten. La composición de aminoácidos de las proteínas del gluten muestra que aproximadamente la mitad de los constituyentes son glutamina y prolina,

además, el 35% de los aminoácidos poseen cadenas laterales de naturaleza hidrofóbica (Hoseney 1994). Sin embargo, no sólo su estructura química sino también los enlaces e interacciones que se establecen entre sus proteínas, juegan un papel fundamental en la funcionalidad del gluten a la hora del desarrollo de la masa. Entre las proteínas se establecen uniones covalentes y no covalentes que contribuyen a la formación y estructuración de la masa (Hoseney 1994). Las uniones no covalentes incluyen puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas, enlaces iónicos e interacciones de van der Waals (Hoseney 1994).

Aunque los puentes de hidrógeno son individualmente débiles, otorgan una gran estabilidad durante el amasado debido al gran número que se establece. En cuanto a las interacciones hidrofóbicas e iónicas, aunque se encuentran en pequeña cantidad, su importancia es significativa en la interacción entre los biopolímeros de la masa, promoviendo una mayor estabilidad. Además, los enlaces covalentes (enlaces peptídicos y puentes disulfuro) se establecen principalmente durante el proceso de amasado y relajación (De la Vega 2009). Los puentes disulfuro se generan en la masa entre dos residuos de cisteína, ya sean de la misma proteína o de proteínas diferentes.

Los polímeros de glutenina están compuestos por subunidades de alto peso molecular (HMW), de entre 60 y 90 kD; y de bajo peso molecular (LMW), entre 10 y 70 kDa (Sivam *et al.*, 2010). Las subunidades de alto peso molecular, que suman entre el 5 y el 10% del total de las proteínas de gluten, se encuentran estabilizadas principalmente por puentes disulfuro. Forman un esqueleto elástico con puentes disulfuro intercatenarios, y este esqueleto es la base para el ensamblaje de las subunidades de bajo peso molecular a través, también, de puentes disulfuro. Incluso, las gliadinas pueden interaccionar con las gluteninas a través de interacciones Hidrofóbicas, y con la glutamina a través de puentes hidrógeno (Sivam *et al.*, 2010).

7.3 Almidón

Durante el horneado del batido del panqué, el almidón sufre una gelatinización, y una pequeña cantidad de amilosa, es liberada a la región intergranular, lo que conduce a un aumento de la viscosidad del sistema. Parte de la amilosa solubilizada forma complejos de inclusión con los lípidos polares de la harina. Además, se produce el desorden de las regiones cristalinas dentro de los gránulos.

Durante el enfriamiento y el almacenamiento del panqué, las moléculas de almidón se reasocian dando lugar a un estado más ordenado o cristalino, proceso llamado retrogradación (Damodaran *et al.*, 2007). La estructura y la dureza del panqué posterior al horneado están dadas por la retrogradación o gelificación de la amilosa solubilizada, lo que implica la formación de dobles hélices en varios segmentos de las cadenas. La amilosa gelificada forma una red continua que rodea los gránulos de almidón hinchados y deformes. La retrogradación de la amilopectina ocurre a una velocidad mucho menor que la de la amilosa por lo que se postula como uno de los fenómenos responsables del endurecimiento del panqué durante su almacenamiento (Charley *et al.*, 2004).

El envejecimiento de los productos panificados está definido como la disminución de la aceptación por parte del consumidor a causa de cambios que no resultan de la acción de microorganismos dañinos. Durante el almacenamiento, el pan pierde gradualmente su frescura, y las alteraciones más notorias incluyen la pérdida de la crujibilidad de la corteza, el aumento de la dureza y la disminución de la elasticidad de la miga, y los cambios en su aroma y sabor (Cauvain & Young

1998). La corteza pierde su textura crocante por la transferencia de humedad desde la miga, y el sabor y el aroma se debilitan por la merma en las sustancias volátiles. El desarrollo de la dureza de la miga con el tiempo es un fenómeno en el que influyen diversos factores.

La pérdida de humedad de la miga junto con la recrystalización de la amilopectina (asociaciones entre las cadenas) son dos de los mecanismos más aceptados (Gray & Bemiller 2003).

7.4 Azúcar

El azúcar disminuye la captación de agua de la harina e interfiere en el desarrollo del gluten, aunque en menor grado, comparado con la grasa. El azúcar sirve como medio para incorporar aire en la grasa y en el batido. Resulta especialmente importante en los pasteles de grasa en los que el azúcar se mezcla con la grasa. Otra aportación es la coloración dorada durante el horneado (R. Maillard) (Charley *et al.*, 2004).

El azúcar ayuda desde las primeras etapas de preparación del batido al efecto de nucleación, que se verá reflejado en el tamaño y uniformidad del cristal de azúcar, así como en la retención de humedad. Juega un papel importante en formulaciones para pastel tipo “high ratio” debido a que retarda la gelatinización de los almidones durante el proceso de horneado del panqué, permitiendo la expansión adecuada del CO₂ formado por el agente leudante y el vapor de agua antes de finalizar el proceso de horneado (Charley *et al.*, 2004). El resultado es una estructura altamente aireada y de buen volumen. Bean y Osman (1959) reportaron que los disacáridos retardan más el endurecimiento del pan que los monosacáridos. Por tanto, al utilizar almidones modificados u otra fuente de almidón se recomienda sustituir fructosa o glucosa por sacarosa y/o aumentar la concentración.

Incluidos en grandes proporciones limitan la cantidad de gluten que se puede desarrollar en una harina. El azúcar es más afín al agua que la harina y la grasa debido a que cubre las partículas de harina, evitando así que el agua se ponga en contacto con el. La grasa es un inhibidor más efectivo del desarrollo del gluten que el azúcar. Cuando hay altos contenidos de azúcar en una formulación, la temperatura de gelatinización del almidón subirá de 60°C a 90°C.

7.5 Huevo

Al poseer una cantidad considerable de proteínas se puede batir fácilmente para formar una espuma, en este proceso las proteínas se desnaturalizan formando una estructura aireada relativamente estable capaz de sostener a otros ingredientes. En los batidos para pastel, las proteínas del huevo se extienden durante el mezclado para formar una red compleja en combinación con el gluten de la harina, al que aportan un soporte estructural. Durante el calentamiento en el horno se coagula la red de proteínas y así contribuye a impartir rigidez a la miga del pastel ayudando a mantener el volumen alcanzado. El huevo ejerce una acción enlazante mejorando la estructura de las celdillas del pastel, produciendo una miga uniforme y de buena textura. El huevo también mejora el color de la corteza de los productos, ya que aporta proteínas que participan en reacciones de oscurecimiento con los azúcares reductores presentes (Charley *et al.*, 2004).

La proteína del huevo es lo suficientemente elástica para estirarse y cuando el batido alcanza temperaturas más altas, la proteína coagula totalmente, pierde su elasticidad y se fija como una

estructura firme, al mismo tiempo de mantener así el incremento de volumen. Sus películas de proteína se distribuyen por el batido resultando en una mayor retención del gas generado por el polvo de hornear. Contribuyen a la uniformidad de la estructura celular reduciendo al mínimo la coalescencia de pequeñas celdillas de aire para formar celdillas más grandes (Badui 2015).

El aire que incorporan los huevos durante el mezclado imparte una buena estabilidad mecánica al batido. Las diminutas celdillas de aire ayudan a soportar el peso de los demás ingredientes del batido antes de que se fije la estructura del batido en el horno (Charley *et al.*, 2004).

La yema contiene agentes emulsificantes muy eficientes. La reducción de la tensión superficial entre dos líquidos es probablemente el primer paso para la formación de una emulsión, y los agentes tensoactivos de la yema son esenciales para esta función de emulsificación. Estos agentes forman una película alrededor de los glóbulos de aceite y previenen su coalescencia. La lecitina favorece la formación de una emulsión aceite en agua, mientras que el colesterol de la yema tiende a formar emulsiones agua aceite. La acción emulsificante de la yema promueve la correcta incorporación de los ingredientes y logra una buena dispersión de la grasa en el batido, lo que contribuye al volumen y textura del producto (Damodaran *et al.*, 2007).

La clara de huevo, cuando se utiliza sola por su acción enlazante, provoca un marcado efecto endurecedor de la miga, a menos de que se usen otros agentes suavizantes. La yema tiene una acción suavizante y es responsable de que el huevo entero tenga una acción suavizante, más que un efecto endurecedor. El componente de la yema que actúa como principal agente suavizante es la grasa, presente en grandes cantidades en la yema. La acción suavizante de los huevos también se debe a la mayor retención de humedad de los productos elaborados con ellos (Badui 2015).

Una de las características del uso de huevo en productos de panificación es que, gracias a sus proteínas, ayuda a reducir la evaporación del contenido de humedad del producto horneado, conservándose durante más tiempo la frescura del producto (Juárez 2012).

7.6 Agua

Para disolver azúcar, sal, bicarbonato y ácido. En el agua el bicarbonato y ácido se ionizan, reaccionan y liberan CO₂. El agua hidrata a la harina para favorecer el desarrollo del gluten. También hidrata el almidón para gelatinizar durante el horneado. El agua convertida en vapor también es un agente leudante (Charley *et al.*, 2004).

8. Aditivos comúnmente empleados en panificación

8.1 Emulsionantes

Los emulsionantes son ingredientes que funcionan tanto como estabilizantes de la masa (cuando el emulsionante interactúa con la fracción proteica de la misma), como suavizantes de la miga (cuando se acomplexan con el almidón gelatinizado durante el horneado) (Goesaert *et al.*, 2009). Han sido utilizados en la industria de la panificación desde hace más de 60 años con el objetivo de retardar el endurecimiento de la miga.

Este efecto se relaciona con la habilidad de los emulsionantes para formar complejos insolubles con la amilosa durante el horneado. Este complejo no participaría en la recristalización del almidón. Además, los emulsionantes reducen la absorción de agua por parte del almidón y su solubilización durante la gelatinización. De esta manera, la movilidad de los polímeros que forman parte del almidón se ve restringida, así como también la lixiviación de la amilosa, resultando en un menor grado de recristalinización durante el almacenamiento (Gray & BeMiller 2003). La capacidad de los emulsionantes para retardar el endurecimiento de la miga está dada mayormente por su balance hidrofílico-lipofílico (HLB), y su potencial de ionización (Stampfli & Nersten, 1995) que influyen en su interacción con las proteínas y los gránulos de almidón intactos, o los polímeros que lo constituyen (amilosa y amilopectina). Además, mediante su agregado, los emulsionantes logran que la masa tolere mejor el trabajo realizado sobre ella durante el batido y la fermentación (Goesaert *et al.*, 2005), y mejoran la estructura de la miga, obteniéndose un alveolado más fino y uniforme. Retienen también el dióxido de carbono incorporado durante el batido, y disminuyen su liberación durante el horneado (Stampfli & Nersten, 1995).

Autores como Onyango *et al.*, (2009), evaluaron el efecto de diferentes emulsionantes sobre el endurecimiento de la miga en panes libres de gluten elaborados a partir de almidón pregelatinizado de mandioca y harina de sorgo. Ellos encontraron que todos los emulsionantes disminuyeron el endurecimiento de la miga, y obtuvieron mejores resultados mediante la incorporación de DATEM (éster de monoglicéridos de ácido diacetil tartárico) y SSL (estearoil 2-lactilato de sodio). El SSL es una sal de sodio del éster del ácido esteárico con el ácido láctico. Posee un balance hidrofílico-lipofílico de 8,3. Por otro lado, el DATEM consta de éster del ácido acetil tartárico y un monoglicérido, y tiene un HLB entre 8,5 y 9.0. Por tanto, grasas y emulsificantes retrasan la gelatinización al retrasar el transporte de agua dentro del gránulo de almidón debido a la formación de complejos entre la grasa y la amilosa durante el horneado.

El uso de emulsificantes es una práctica común en panificación, este reduce la tensión interfacial, facilitando la incorporación de la grasa, impidiendo su coalescencia. El emulsificante funciona de dos maneras: ayuda a la incorporación de aire y dispersa la grasa en partículas finas, para dar el mayor número posible de celdas de aire. En un sistema de batido para pastel el “shortening” ayuda a atrapar aire durante el acreamado, físicamente interfiere en la continuidad de la red de gluten y almidón y emulsifica el líquido en la formulación, por tanto, el “shortening” afecta la suavidad y humedad del pastel. La adición de un emulsificante en la grasa mejora sus propiedades emulsivas, generando una mayor viscosidad y mejor estabilidad, con una mejor distribución del aire (Eduardo *et al.*, 2014). Esto resultará en un pastel más húmedo, con mayor volumen, también permite hacer cambios en la formulación, tales como un incremento de agua y azúcar, reducir niveles de huevo y obtener pasteles más ligeros, dulces y más húmedos con mayor vida de anaquel, esto ha llevado al desarrollo de grasas de “alto radio”, donde se agrega 8 % de mono glicéridos permitiendo manejar altos niveles de humedad y azúcar en la formulación.

8.2 Hidrocoloides

Los hidrocoloides son moléculas altamente hidrofílicas. Químicamente, pueden ser polisacáridos como la goma xántica, los galactomananos, los derivados del almidón, entre otros; o proteínas, como la gnetinaa. Proveen numerosas propiedades funcionales que los tornan adecuados para diferentes aplicaciones en la industria alimenticia (Rosell *et al.*, 2007). En la industria panadera, además de ser utilizados como reemplazantes del gluten, los hidrocoloides han sido empleados

para mejorar la textura del pan, disminuir la velocidad de retrogradación de la amilopectina, aumentar la retención de agua y mantener la calidad general del producto durante más tiempo (Rojas *et al.*, 1999).

Todos los hidrocoloides interactúan con el agua, reduciendo su difusión. En general, los hidrocoloides neutros muestran una menor solubilidad, mientras que los polielectrolitos son altamente solubles en agua, aunque la cinética de hidratación depende de varios factores; las gomas xántica y guar y la carboximetilcelulosa (CMC) son solubles en agua fría; mientras que los carragenanos, la goma garrofín y muchos alginatos requieren de agua caliente para su completa hidratación (Anton & Artfield 2008). El agua puede ser retenida directamente por la formación de puentes de hidrógeno, o puede ser contenida en los espacios que se forman inter o intramolecularmente.

Martínez-Jiménez *et al.* (2015) probaron el uso de diferentes hidrocoloides como sustitutos del gluten en pan elaborado a partir de almidón de maíz. Los autores evaluaron el efecto de las gomas xántica, guar, garrofín y tragacanto sobre el volumen y la textura de estos panes. Todos los hidrocoloides aumentaron significativamente el volumen y disminuyeron la dureza de los panes, obteniendo los mejores resultados con la incorporación de la goma xántica; mientras que Gan *et al.* (2001) encontraron que la hidroxipropil metil celulosa (HPMC) y la CMC funcionan mejor que la goma guar como reemplazantes parciales del gluten en panes hechos a partir de harina de trigo y harina de arroz (50:50).

La goma xántica es un metabolito secundario producido durante la fermentación aeróbica de carbohidratos simples por parte de *Xanthomonas* spp. Se trata de un polisacárido formado por una estructura primaria de unidades repetidas, constituidas por dos glucosas, dos manosas y un ácido glucurónico. Unidos a las manosas se encuentran ácido pirúvico y grupos acetilos, que le otorgan a la molécula un carácter aniónico (García-Ochoa *et al.*, 2000). En soluciones acuosas, la molécula adopta una conformación helicoidal, que le otorga a la molécula una estructura más rígida. Se ha demostrado que esta característica influye el comportamiento de sus soluciones, incluyendo altas viscosidades y pseudoplasticidad (Millane y Wang 1990). La cadena central de glucanos está protegida por las cadenas laterales, que la tornan relativamente estable a ácidos, álcalis y enzimas (particularmente celulasa).

La carboximetilcelulosa (CMC) es una celulosa químicamente modificada. Su estructura consiste en un polímero de residuos de glucosa unidas por enlaces β -(1-4), al que se le reemplazan los grupos oxidrilos por grupos carboximetilos. La incorporación de grupos metilo a la cadena de celulosa produce polímeros con una gran actividad superficial y características únicas de hidratación-deshidratación en solución y durante los cambios de temperatura. Las redes formadas por la metilcelulosa (MC, celulosa con grupos metilo), la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC, celulosa con grupos hidroxipropil metilos) o la carboximetilcelulosa (CMC) durante el horneado aumentan la viscosidad de la masa y fortalecen los límites de las burbujas de aire en expansión mejorando la retención de gas y, por consiguiente, aumentando el volumen de las piezas (Bell 1990).

Alginato es un término colectivo que se otorga a la familia de exopolisacáridos producidos principalmente por algunas especies de algas pardas. Se los ha utilizado ampliamente en la industria alimenticia; existe una mayor preferencia por el alginato de sodio, ya que posee mayor solubilidad

en agua a temperatura ambiente. En términos químicos, es un co-polímero lineal formado por ácido D-manurónico (M) y ácido L-gulurónico (G) como monómeros, formando estructuras en bloque -MMM- -GGG- (Moe *et al.*, 1995). El bloque G es más rígido que el M, debido al mayor impedimento en la rotación alrededor de los enlaces glucosídicos (Braccini *et al.*, 1999). La aplicación de los alginatos en la industria se basa en su capacidad de formar geles por medio de la asociación con cationes. Los cationes divalentes se unen preferentemente a los bloques G.

Carragenato es el nombre genérico de una familia de polisacáridos extraídos de algunas algas rojas, con capacidad de formar geles y aumentar la viscosidad de los sistemas en los que se encuentran. Están compuestos de un esqueleto lineal de galactosa con un grado variable de sulfatación (entre el 15 y el 40%). Distintos tipos de carragenato varían en su composición y conformación, lo que resulta en un amplio rango de propiedades reológicas y funcionales. Los carragenatos comparten una estructura similar: galactosa y 3,6-anhidrogallactosa, con el residuo de galactosa sulfatado en el C-4; además, el ι-carragenato está sulfatado también en el C-2 de la anhidrogallactosa. Estos dos tipos de carragenato son los principales formadores de geles. Conformacionalmente, tienden a ordenarse como doble hélices. Por otro lado, el carragenato está formado por galactosas unidas por enlace glucosídico (1,4), con un residuo sulfatado en la posición 2, y el siguiente en las posiciones 2 y 6. La conformación de este carragenato es de espiral simple, y no tienen capacidad gelificante aparente (Morris *et al.*, 1980; Trius & Sebranek, 1996; Belitz & Grosch, 2012).

Los carragenatos se emplean en una gran variedad de aplicaciones comerciales, como gelificantes, espesantes y agentes estabilizantes, especialmente en productos alimenticios como postres congelados, chocolate, cremas batidas y productos de panificación.

De acuerdo a Philips *et al.* (1986), los hidrocoloides tienen principalmente dos propiedades funcionales en alimentos: a) como agentes espesantes, esto implica el enredamiento inespecífico de las cadenas conformacionalmente desordenadas y b) como agentes gelificantes, que implica una asociación entre cadenas específicas en zonas de unión conformacionalmente ordenadas.

Gomas: xantana guar tragacanto: Formadas por unidades de galactosa. Por ser estructuras muy ramificadas, no interactúan para formar red tridimensional (gel). Contiene grupos OH tiene alta afinidad por el agua formando soluciones viscosas. Se usan como espesantes reemplazando al almidón. (fibra soluble aportan pocas calorías). Estabiliza emulsiones, aportan textura.

Solo algunos hidrocoloides tienen capacidad gelificante. La formación del gel se debe a la formación de enlaces cruzados entre las cadenas de polímero para formar una red tridimensional que retiene o inmoviliza agua dentro, formando una estructura rígida, resistente al flujo, es decir, tiene comportamiento tanto de líquido como de sólido (propiedad viscoelástica). El arreglo físico de estas zonas de unión en la red puede verse afectadas por parámetros como la temperatura, presencia de iones y la propia estructura del hidrocoloide.

8.3 Proteínas

En la actualidad, las proteínas obtenidas a partir de la leche se emplean en productos de panadería debido tanto a su valor nutricional como a sus beneficios funcionales: sabor, textura, y la disminución de la velocidad de endurecimiento de la miga (Kenny *et al.*, 2001; Gallagher *et al.*, 2003b). En numerosos estudios se ha evaluado la incorporación de proteínas de suero de leche en

sistemas libres de gluten, donde se han incorporado por su capacidad de absorber agua y, así, mejorar las propiedades mecánicas de las masas durante su manipulación (Gallagher *et al.*, 2003a). Recientemente se ha descrito un aumento en el volumen, un mejoramiento en la apariencia general y las propiedades sensoriales de panes libres de gluten al incorporarles proteínas de leche. Estas mejores características fueron atribuidas a la capacidad de estas proteínas de formar una red similar a la del gluten. También se ha utilizado huevo en polvo para conformar una red proteica en ausencia de gluten.

9. Proceso de gelificación

Los hidrocoloides forman geles mediante la asociación física de sus cadenas poliméricas mediante enlaces de hidrógeno, asociación hidrófoba y reticulación mediada por cationes y difieren de los geles poliméricos sintéticos, que normalmente consisten en cadenas poliméricas reticuladas covalentemente. Por lo tanto, los geles hidrocoloides se denominan a menudo "geles físicos" (Philips & Williams 2000).

Un gel es una fase intermedia entre un sólido y un líquido. Técnicamente, se define como "un sistema sustancialmente diluido, el cual no muestra flujo en estado estacionario". Se logra al entrecruzar el polímero mediante uniones, covalentes o no covalentes, para formar una red capaz de atrapar agua y sustancias de bajo peso molecular.

La gelación de proteínas se refiere a la transformación de una proteína en el estado "sol" a un estado "gel", que se facilita por calor, enzimas o cationes divalentes bajo condiciones apropiadas y que inducen la formación de una estructura de red, cuyos mecanismos de formación pueden diferir considerablemente." La mayoría de los geles de proteínas se preparan calentando la solución de proteína, lo que induce una desnaturalización que puede ser considerada un estado "progel", que es un líquido viscoso en el que ocurren algunos eventos de polimerización de la proteína. Esta se despliega y se exponen numerosos grupos funcionales, como los puentes de hidrógeno y los grupos hidrofóbicos.

Un segundo estado es la formación de una red de proteína entre las moléculas desplegadas, a menudo irreversible. Cuando el progel se enfría, a temperatura ambiente o de refrigeración, baja la energía cinética y esto facilita la formación de uniones estables no covalentes gracias a la exposición de grupos funcionales de varias moléculas, lo que constituye la gelificación.

Las interacciones involucradas en la formación de la red son principalmente puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas y electrostáticas, cuya contribución varía con el tipo de proteína, condiciones de calentamiento, el grado de desnaturalización y las condiciones ambientales. Los geles que se forman sustancialmente por interacciones no covalentes (principalmente por puentes de hidrógeno) son térmicamente reversibles y cuando se calientan de nuevo se funden en un estado de progel, como se observa con los geles de galletina. Por lo general son resistentes a elevadas temperaturas e irreversibles, como los geles de clara de huevo. Las proteínas que contienen grupos de cisteína y cistinas polimerizan vía interacciones sulfhidrilo-disulfuro y son térmicamente irreversibles. Ovoalbúmina, B-lactoglobulinas y geles de proteínas de suero forman geles de este tipo.

Las proteínas forman dos tipos de geles principales: geles opacos o coágulos y geles translúcidos. El tipo de gel que se forme está dictado por las propiedades moleculares de la proteína y sus condiciones de solución. Las proteínas con grandes cantidades de aminoácidos no polares se agregan al desnaturizarse y forman agregados insolubles que se asocian al azar formando geles tipo coágulo, irreversibles. Estas proteínas forman el gel aun cuando se esté calentando la solución, porque la velocidad de agregación y formación de red es mayor que la de desnaturalización. La red que se obtiene es desordenada y dispersa la luz, lo que da una apariencia opaca. En contraste, las proteínas con cantidades pequeñas de aminoácidos no polares forman complejos solubles al desnaturizarse. La velocidad de asociación de estos complejos solubles facilita la formación de un gel ordenado translúcido.

La estabilidad de un gel ante fuerzas mecánicas y térmicas depende del número y tipo de entrecruzamientos formados por cadena monomérica. Termodinámicamente un gel será estable sólo cuando la suma de las energías de interacción de un monómero en un gel sea mayor que su energía cinética térmica. En un estudio a nivel molecular del material agregado se encontró que el desdoblamiento de las proteínas en la formación de geles es limitado, debido a que se conservan porcentajes significativos de estructuras ordenadas. Además, se ha encontrado que durante el proceso de desdoblamiento/agregación puede surgir nueva estructura secundaria (por ejemplo, hojas beta). Los tipos usuales de fuerzas físicas, como las interacciones electrostáticas, puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas e incluso enlaces covalentes, que estabilizan la conformación nativa de la proteína, también desempeñan un papel importante en la estabilización de las redes proteínicas en los geles, que frecuentemente son permanentes, es decir, que la agregación es irreversible tras prepararlos por calentamiento y posterior enfriamiento. La fuerza de los geles por lo general disminuye a medida que son sometidos a calor nuevamente, y de hecho se conocen algunos ejemplos de geles fundidos.

La gelificación no sólo se utiliza para formar geles sólidos viscoelásticos, sino también para mejorar la absorción de agua, los efectos espesantes, la fijación de partículas (adhesión), y para estabilizar emulsiones y espumas. La formación de gel implica la asociación aleatoria de segmentos poliméricos en dispersión de tal manera que forma de una red tridimensional que contenga agua en los intersticios. Las regiones asociadas conocidas como 'zonas de unión' pueden estar formadas por dos o más cadenas de polímeros. El proceso de gelificación es esencialmente la formación de estas zonas de unión (Oakenfull 1987).

La gelificación del hidrocoloide puede implicar una jerarquía de estructuras, la más común es la agregación de una inter-cadena primaria "Zonas de unión", que constituyen la base de la red tridimensional característica de un gel. La disposición física de estas zonas de unión puede verse afectada por varios parámetros como temperatura, presencia de iones y estructura inherente del hidrocoloide. Para la gelificación de hidrocoloides, los tres principales mecanismos propuestos son la gelificación ionotrópica, la gelificación en frío y gelificación por calor (Burey *et al.*, 2008).

La gelificación ionotrópica se produce mediante la reticulación de cadenas hidrocoloides con iones, típicamente un proceso de gelificación mediado por cationes con polisacáridos cargados negativamente. Ejemplos de tales sistemas son alginato, carragenano y pectina. La gelificación ionotrópica se lleva a cabo mediante un ajuste de difusión o una gelificación interna. En la gelificación fijada en frío, los polvos hidrocoloides se disuelven en agua muy caliente para formar una dispersión que al enfriar da como resultado una hélice entre cadenas estabilizada

entalpícamente para formar segmentos de cadenas individuales que conducen a una red tridimensional. El agar y la grenetinaa forman gel por este mecanismo (Glicksman 1982). Algunos geles requieren la aplicación de calor (por ejemplo, curdlan, konjac glucomanano, metil celulosa, almidón y proteínas globulares). Esto ocurre desplegando o expandiendo el almidón nativo o proteína y su posterior reordenamiento en una red (Nishinari & Zhang 2004). Generalmente se utilizan cuando durante el proceso se lleva a cabo calentamiento.

Las zonas de unión desempeñan un papel muy importante en el proceso de gelificación de los hidrocoloides (De Vries 2004), igualmente, el número de moléculas en la zona de unión determina las características y el comportamiento funcional de un gel. En el caso de la grenetinaa, las zonas de unión se forman por tres moléculas a través de enlaces de hidrógeno. En κ -carragenano, seis a diez moléculas forman una zona de unión, mientras que en ι -carragenano sólo dos moléculas están involucradas. Entre más zonas de unión, más rígido es el gel. Por lo tanto, las zonas de unión de múltiples moléculas de κ -carragenano son más rígidas y menos fáciles de reconstruir cuando se alteran por la fuerza de cizallamiento, mientras que los geles de ι -carragenano tienen texturas mucho más flexibles y son menos sensibles al cizallamiento.

El número de zonas de unión y el número de moléculas en las zonas de unión y la flexibilidad de los segmentos de interrupción son importantes para las características de un gel establecido. Las zonas de unión de la ι -carragenina y el alginato consisten en dos moléculas, pero los geles ι -carragenanos pueden sostener más deformación antes de romperse en comparación con los geles de alginato de casi la misma resistencia. El comportamiento térmico de los geles también difiere debido a las zonas de unión. La grenetinaa se derrite a temperaturas mucho más bajas porque las zonas de unión sólo están unidas por enlaces de hidrógeno débiles. Por otra parte, es posible hacer geles de alginato que no se funden al hervir debido a la resistencia de los puentes de calcio en las zonas de unión.

Uno de los principales factores que influyen en la resistencia de las zonas de unión es su longitud. El puente de calcio es cooperativo, es decir, la resistencia de unión aumenta más que proporcionalmente con la longitud de la zona de unión. La calidad del disolvente es también otro factor importante.

Los enlaces de hidrógeno en geles de pectina de alto metoxi sólo pueden formarse si la actividad de agua es suficientemente reducida por adición de azúcar. Existen varios tipos de zonas de unión en geles poliméricos como uniones de doble hélice apiladas en carragenanos, hélices triples parcialmente apiladas en grenetinaa y unión en 'huevo-caja' en alginato. En la mayoría de los geles poliméricos, las zonas de unión contienen una proporción sustancial del 30% del material polímero, (Walstra 2003). Diversos factores afectan a la formación de gel por hidrocoloides que incluyen la concentración del agente gelificante, pH del medio, masa molar/grado polimerización, temperatura, composición iónica y calidad del solvente (Walstra 2003).

La calidad de una grenetina comercial está dada por la fuerza del gel y su estabilidad térmica (temperaturas de gelificación y fusión. La fuerza del gel se mide en grados Bloom.

Ambos fuerza del gel y termoestabilidad son dependientes de las propiedades moleculares, especialmente con respecto a la composición de aminoácidos y distribución del peso molecular (en función del proceso de extracción) (Gómez-Guillén *et al.*, 2002).

Prolina e hidroxiprolina son particularmente importantes para el efecto gelificante. La reestructuración de la triple hélice es proporcional al contenido de pirrolidina. La secuencia total de los aminoácidos Gly, Pro, Hyp, muy relacionadas con las zonas de nucleación, Hyp se cree que juega un papel importante en la estabilización de la triple hélice debido a la habilidad para formar enlaces de hidrógeno a través de sus grupos OH- (Burjandze 1979).

La diferente solubilidad de la goma de guar respecto a la de algarrobo se debe al grado de sustitución de galactosa. Mientras que la goma de guar tiene un elevado contenido de galactosas, se dispersa fácilmente en agua fría y caliente. La goma de algarrobo necesita agua caliente para solubilizarse completamente (Wang *et al.*, 2000; Dunstan *et al.*, 2001).

10. Aplicaciones de hidrocoloides como gelificantes

La selección de un hidrocoloide particular para ser utilizado en un producto alimenticio específico depende de las características del agente gelificante. Por ejemplo, el alginato puede formar geles sin calentamiento previo porque el alginato sódico es soluble en agua fría y estos geles formados en frío son estables al calor. Esto hace del alginato un agente gelificante preferido para alimentos reestructurados y para la crema instantánea preparada en frío de la panadería que sea baketable (De Vries 2004). El rápido comportamiento de geles de alginato es también importante en alimentos reestructurados que son conjuntos de difusión (Draget 2000).

10.1 Grenetina

La grenetina es una proteína derivada de la hidrólisis selectiva del colágeno, el componente orgánico más abundante en huesos y piel de mamíferos. Hay dos procesos de producción: el ácido y el básico. En el primero se tratan huesos y piel en una solución ácida diluida por un periodo predeterminado; se lava con agua fría y se genera un producto con un punto isoelectrico de 6-9. En el proceso alcalino, los huesos desmineralizados se suspenden en una solución de sosa por un periodo de 60 días, en tanto las pieles se remojan por periodos menores. Periódicamente se cambia la solución de remojo y al final se lava por completo para eliminar toda la sosa residual. El punto isoelectrico del producto está entre 4.8 y 5.2. Después cualesquiera de estos dos procesos se extrae la proteína con agua, a temperatura controlada menor a 80 °C. En esta etapa ocurre una alteración de la triple hélice en la que se rompen enlaces internucleares e intra-moleculares y se producen cadenas menos estructuradas, que corresponden propiamente a la grenetina. Tras estos procesos se obtiene una solución proteínica diluida (4.7%), que se filtra, desmineraliza y se concentra en evaporadores al vacío de efectos múltiples, hasta alcanzar niveles de 25-30%. Se esteriliza con procedimiento UHT, se enfría, se extruye y se seca.

La grenetina es considerada uno de los coloides más versátiles de la industria de alimentos debido a que no aporta sabor, color y no tiene potencial alergénico. Es usado como agente gelificante, espesante, enlazante de agua emulsificante, formador de películas, capaz de formar una matriz similar a la de la grasa en emulsiones en donde exhibe un comportamiento pseudoplástico y una cremosidad similar a la grasa, pero libre de calorías (Damodaran *et al.*, 2007). Además de su bajo costo respecto a otros hidrocoloides

Además de sus propiedades básicas de hidratación y solubilidad, las propiedades más importantes de la grenetina son las propiedades asociadas a su comportamiento gelificante, es decir, formación

de gel, dar textura, viscosidad y capacidad de unión del agua y las propiedades relacionadas con su comportamiento superficial, que incluyen la formación de emulsiones y espumas y la estabilización, adherencia y cohesión, función coloide protectora y capacidad de formación de películas (Schrieber & Gareis, 2007). Sikorski, Scott y Buisson (1984) revisaron las posibilidades del colágeno de los peces como material funcional, y Montero y Borderías (1991) examinaron los efectos de la concentración, el pH y la fuerza iónica en la optimización de sus propiedades funcionales.

La formación de gel, la viscosidad y la textura son propiedades estrechamente relacionadas con la estructura, el tamaño molecular y la temperatura del sistema. El proceso de gelificación para el colágeno y la grenetinaa es termo-reversible, pero en direcciones opuestas: los geles del colágeno derriten bajando la temperatura, mientras que los geles de la grenetinaa derriten aumentando la temperatura. El uso más extendido de la grenetinaa en alimentos está en los postres, debido a su característica única de la derretirse en la boca. Algunos otros hidrocoloides también tienen características termo-reversibles, pero se derriten generalmente a temperaturas más altas.

Las propiedades de superficie de la grenetina se basan en la presencia de grupos cargados en las cadenas laterales de la proteína, y en ciertas partes de la secuencia del colágeno que contienen aminoácidos hidrofílicos o hidrofóbicos. Las piezas hidrofóbicas e hidrofílicas tienden a emigrar hacia superficies, reduciendo la tensión superficial de sistemas acuosos y formando la película idénticamente cargada requerida alrededor de los componentes de la fase dispersa, que se puede consolidar además por la formación del gel (Schrieber & Gareis 2007).

La grenetina con un punto isoeléctrico relativamente alto (PI 7,0), son aptas para la creación de emulsiones de aceite en agua con una carga positiva sobre una gama más amplia de valores de pH que los emulsionantes convencionales de proteínas, como la soja, la caseína o las proteínas de suero (Dickinson & Lopez 2001). Los primeros estudios de Kim, *et al.*, (1996) reportaron que la grenetinaa de hueso de bacalao tenía propiedades emulsionantes similares a las de un emulsionante comercial, como Tween-80.

Como suele ser el caso de las propiedades gelificantes, la capacidad de emulsión de la grenetinaa de las especies de peces es frecuentemente menor que la de los mamíferos. Aparte de la distribución de la carga, un criterio importante en la selección de un tipo conveniente de la grenetina es la firmeza del gel, porque, a la misma temperatura y concentración, cuanto más firme es el gel, mejor propiedad de película protectora alrededor de las gotas de aceite (Schrieber & Gareis 2007). Por ejemplo, el índice de actividad de la emulsión de la grenetinaa de aleta de atún fue menor que para la grenetinaa de piel de cerdo en la misma concentración proteica (Aewsiri *et al.*, 2008). Con ambos tipos de grenetinaa, la capacidad de la emulsión aumentó con la concentración creciente de la proteína a partir del 2 a el 5%, con las concentraciones altas de la proteína que facilitaban más adsorción de la proteína en la interfaz. Sin embargo, las emulsiones de aceite en agua podrían prepararse utilizando una concentración relativamente baja de grenetinaa (0,05%), extraída de la piel de los peces de pargo patudo (BINSI *et al.*, 2009).

Con el fin de entender el comportamiento viscoelástico de los geles de grenetina, se utiliza un reómetro oscilante. Se puede ver que las curvas de enfriamiento y calentamiento de las soluciones de grenetinaa no son congruentes. La curva muestra una histéresis distinta. Esto significa que el proceso de fusión se encuentra energéticamente a un nivel superior, en donde la temperatura de

fusión es generalmente alrededor de 5 ° C por encima de la temperatura de solidificación de la respectiva grenetina. Las grenetinas de alto valor Bloom son recomendadas para muchas aplicaciones. Estas ofrecen ventajas tales como: Puntos más altos de fusión y solidez, solidez rápida, aplicación de pequeñas cantidades, color más claro.

11. Importancia del proceso en la calidad del panqué

El término pastel se refiere a una amplia gama de productos dulces horneados elaborados generalmente con harina, huevo, azúcar y grasa, resultando un batido de baja viscosidad, respecto a otros panes, con una humedad entre 18 y 28%. El panqué entra dentro de este grupo de productos. El volumen, estructura de la miga y suavidad son los parámetros más importantes que determinan la aceptabilidad del producto (Wilderjans *et al.*, 2013).

Un buen pastel debe tener una gran cantidad de celdas diminutas uniformemente distribuidas sin hoyos grandes. Debe tener buen color, ser húmedo, tener un buen sabor y la apariencia general debe ser atractiva (Cauvain & Young 1998).

Generalmente es aceptado que la aereación de un pastel depende en la expansión de los gases aire y polvo de hornear (si se usa) junto con la presión del vapor de agua en las burbujas. Conforme el volumen del batido se incrementa unas 3 ½ veces durante el horneo, esto no puede ser únicamente debido a los gases, y se ha encontrado que el contenido de aire participa en un poco más del 10% de la expansión total. El remanente 90% se obtiene por la conversión de agua en vapor dentro de la burbuja. Hesso *et al.*, (2015a) han encontrado que el volumen de los pasteles es proporcional al contenido de aire y han demostrado que un batido al que se le ha eliminado todo el aire por medio de un tratamiento al vacío no crece en lo absoluto.

Conforme la temperatura se eleva durante el horneo, el batido se adelgaza y algunas burbujas sufren coalescencia con alguna pérdida de gas. La tasa de coalescencia depende del tamaño de las burbujas y más importante, en la variación del tamaño de la burbuja. Las burbujas pequeñas de tamaño uniforme, imparten estabilidad a la mezcla y producen un pastel de textura muy fina. La variación en el tamaño de la burbuja y la presencia de grandes burbujas resultan en una mezcla inestable, produciendo pasteles con una miga burda y una textura dispareja (Handleman *et al.*, 1961).

El proceso de coalescencia se detiene finalmente por un endurecimiento del batido debido a la gelatinización del almidón y la coagulación de las proteínas del huevo y de la harina. La presencia de burbujas de aire, es esencial, y puede ser vista como el núcleo de expansión del pastel, controlándola y gobernándola (Charley 2014).

12. Alimentos funcionales

De las diferentes definiciones propuestas para un alimento funcional, todas ellas coinciden en que son alimentos funcionales, aquellos que han experimentado un cambio a través del procesamiento que conlleva a un aumento de sus propiedades saludables. Un alimento puede considerarse funcional si se demuestra satisfactoriamente que ejerce un efecto beneficioso sobre una o más funciones selectivas del organismo, además de sus efectos nutritivos intrínsecos, de modo tal que resulte apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar, reducir el riesgo de enfermedad, o ambas cosas”. Operativamente, un alimento funcional puede ser (Ashwell 2005):

- Un alimento natural en el que uno de sus componentes ha sido mejorado.
- Un alimento al que se ha añadido un componente para que produzca beneficios.
- Un alimento del cual se ha eliminado un componente y producirá menos efectos adversos sobre la salud.
- Un alimento en el cual alguno de sus componentes ha sido modificado químicamente para mejorar la salud.
- Un alimento en el que la biodisponibilidad de uno o más componentes ha sido aumentada.
- Combinaciones de las anteriores.

A nivel internacional, la semilla de chía es considerada como un suplemento alimenticio por la FDA (Food and Drug Administration), por su elevado contenido de ácido linolénico (omega-3), antioxidantes y fibra soluble e insoluble. Por otra parte, en el año 2009, quedó autorizada en el mercado comunitario (Unión Europea) la comercialización de semillas de chía (*S. hispanica*) y semillas de chía trituradas, para ser utilizadas como un nuevo ingrediente alimentario en productos de panadería con un contenido máximo de semillas de chía del 5% (Comisión de las Comunidades Europeas, 2009). El reemplazo de grasas saturadas y/o parcialmente hidrogenadas en productos de consumo frecuente como el panqué, por aceites ricos en ácidos grasos esenciales que mejoren el balance de omega-6: omega-3, podría considerarse como un alimento que contribuye a reducir el riesgo de enfermedad cardiovascular aunado a una dieta balanceada y actividad física.

JUSTIFICACIÓN

El estilo de vida reciente, ha producido cambios en los hábitos alimenticios que no necesariamente son más saludables; respecto a las grasas, han aumentado el consumo de saturadas que se ha visto son causa de enfermedades cardiovasculares. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6 forman parte de las membranas de la célula e influyen en su permeabilidad, se ha demostrado que la ausencia de ácidos grasos omega-3 está asociada a procesos inflamatorios y al desarrollo precario de neuronas en pacientes con depresión (Giacopini 2012). Se reconocen también efectos benéficos de los ácidos omega-3 sobre enfermedades cardiovasculares. Hoy en día, los cambios en los patrones de alimentación, han provocado un mayor consumo de aceites vegetales ricos en ácido linoléico (omega-6). El ácido linolénico (omega-3), precursor del DHA tiene baja disponibilidad a partir de la dieta, siendo muy restringido su consumo en algunas poblaciones, por lo que la relación omega 6: omega:3 llega a ser hasta del orden de 15:1, cuando la relación debería ser 2:1.

En México, el consumo de panes y pasteles per cápita anual es de 32.5 kilos, lo cual lo convierte en uno de los alimentos más demandados (CANAIMPA 2009). Productos como el panqué contienen cantidades elevadas de grasa sólida, ya sea margarina o mantequilla, que contienen grasas saturadas o parcialmente hidrogenadas, cuya funcionalidad en el producto es aportar sabor, aroma, suavidad y humedad a la miga (Wilderjans *et al.*, 2013). Desde hace décadas, las grasas sólidas y semisólidas se han producido a partir de la hidrogenación de aceites vegetales, sin embargo, se ha demostrado que éstas contienen grandes cantidades de ácidos grasos trans o grasas saturadas que resultan perjudiciales para la salud. En todo el mundo se están tomando medidas dirigidas a limitar el uso de las mismas en la elaboración de productos alimenticios, lo que obliga a buscar alternativas tecnológicas que permitan obtener productos con características físicas y organolépticas similares, pero que resulten saludables (Euromonitor International 2009).

Es por esto que en el presente trabajo se propone la sustitución parcial de margarina por aceites vegetales (canola y chía), para reducir grasas saturadas y/o trans y mejorar el balance de los ácidos grasos esenciales omega-3 y omega-6, evaluando las propiedades reológicas, microestructurales en el batido y texturales y sensoriales del panqué, además de determinar el perfil de ácidos grasos.

En la sustitución de shortenings por aceites vegetales se ha visto se requiere la adición de gomas y agentes emulsionantes para mejorar las características físicas del panqué, es por ello que se evalúa el efecto de la adición de un emulsionante comercial y grenetina en los atributos de un panqué reducido en margarina. La grenetina es un hidrocoloide poco empleado en panificación que aún no se han reportado estudios de su uso en batidos para panqué. Se han reportado estudios sobre las características reológicas y texturales en panqué adicionado de harina de chía para mejorar el aporte nutrimental, sin embargo, el aceite de chía en menor cantidad, aporta un mayor porcentaje de ácidos grasos omega-3.

HIPÓTESIS

La interacción aceite de canola-chía - grenetina - emulsionante permitirá la sustitución parcial de margarina, aportando propiedades reológicas y microestructurales similares al de una fórmula base para panqué, además de aportar ácidos grasos esenciales.

OBJETIVOS

Objetivo General

Estudiar el efecto de la sustitución parcial de margarina por una mezcla de aceite de canola-chía, grenetina y emulsionante en las propiedades reológicas del batido, microestructurales, de textura y contenido de ácidos grasos en panqué.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la combinación de tres componentes: grenetina, aceite de chía y emulsionante (en concentraciones fijas), en ocho formulaciones reducidas 70% en margarina y sustituidas parcialmente por aceite de canola, determinando la reología, gravedad específica, microestructura del batido y perfil de textura del panqué.
- Determinar la concentración óptima de grenetina adicionando a la fórmula reducida en margarina, concentraciones de 0%, 0.75%, 1.25% y 2.0%, determinando reología, microestructura del batido, firmeza y perfil sensorial del panqué obtenido.
- Evaluar en formulaciones reducidas en 70% y 90% de margarina, con y sin grenetina, la adición de diferente concentración de aceite de canola-chía, determinando módulos de viscoelasticidad con corrimientos de temperatura, y características físicas (volumen, color, estructura de la miga, textura) y evaluación sensorial del panqué para determinar la formulación que presenta mejores atributos.
- Realizar el perfil de ácidos grasos a la formulación que presente mejores atributos sensoriales y de textura del inciso anterior y comparar con el control.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo de investigación se dividió en tres etapas (ver Figuras 1-3): en la primera etapa (Figura 1) se evaluó el efecto de la adición de aceite de chía, grenetina y emulsionante comercial, a una concentración determinada, en una formulación reducida 70% en margarina y adicionada de aceite de canola (50%); en la gravedad específica (SG), propiedades reológicas (viscosidad aparente y módulos viscoelásticos), microestructurales del batido y porcentaje de humedad y perfil de textura del panqué.

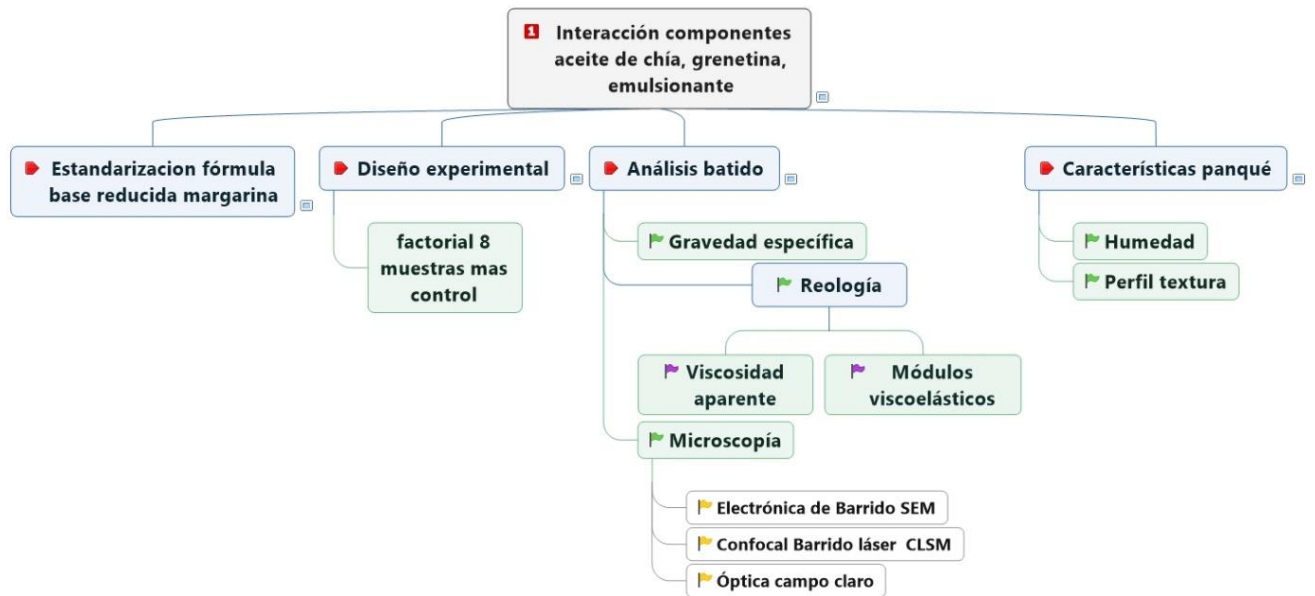


Figura 1
Diagrama de flujo de la etapa I del proceso

En la segunda etapa, considerando que la grenetina fue el parámetro que modificó significativamente la textura del panqué, se propuso adicionar diferentes concentraciones de grenetina (0, 0.75, 1.25 y 2.0%) para correlacionar las propiedades reológicas y microestructurales del batido, con parámetros de calidad del panqué (volumen, uniformidad de la miga y firmeza), y evaluando sensorialmente las formulaciones estudiadas para valorar su adición o no a este tipo de productos (ver Figura 2).

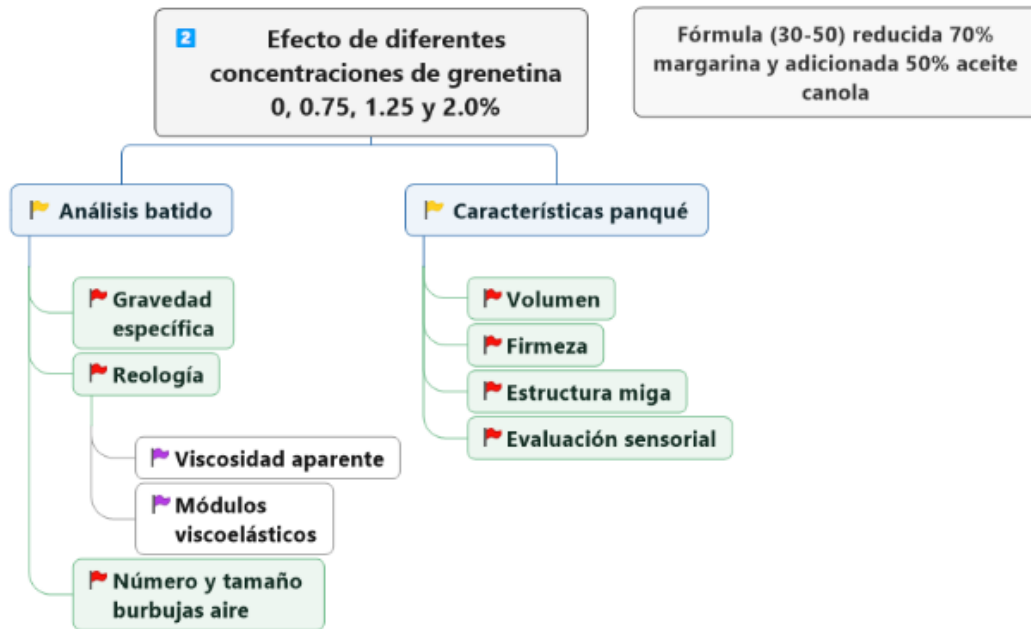


Figura 2
Diagrama de flujo de la etapa II del proceso

En la tercera etapa (ver Figura 3), se aumentó la proporción de aceite de canola-chía y se redujo en 90% la cantidad de margarina, con la finalidad de evaluar las características de calidad del panqué al aumentar el aporte de ácidos grasos esenciales. Se determinó SG, módulos viscoelásticos con aumento de temperatura en batido, volumen, color, firmeza, análisis bromatológico y sensorial en el panqué. Finalmente, se determinó el perfil de ácidos grasos a la formulación de mejor aceptación sensorial comparándose con el control.

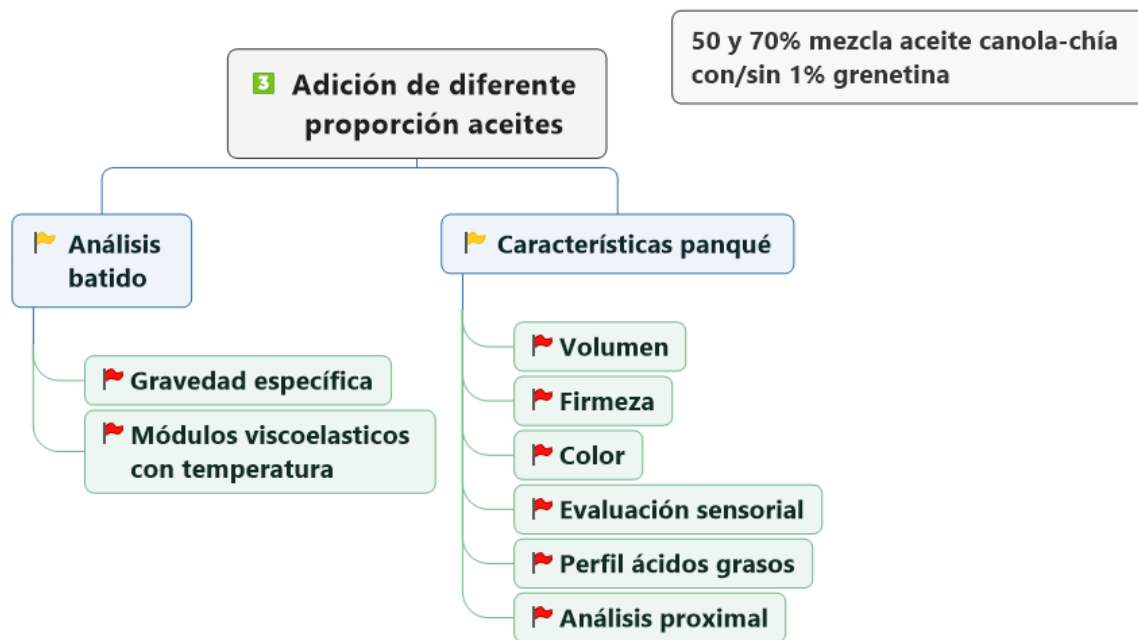


Figura 3
Diagrama de flujo de la etapa III del proceso

Primera etapa

Preparación del batido para panqué

Ingredientes: Harina de trigo (San Antonio, Tres Estrellas®, México) con un contenido de proteína reportado de 10.88%; grenetina 260 grados bloom (Gelita®, México), polvo para hornear (Royal®, Kraft Foods de México), margarina (Iberia®, Unilever México), aceite de canola (Canoil®, AGYDSA, México), aceite de semilla de chía prensado en frío, agua purificada (Bonafont®, México). Huevo entero, azúcar estandar adquiridas en el Mercado local. Emulsificante Vanlite Cake Emulsifier® que contiene: Agua, Ésteres de Propilenglicol de Ácidos Grasos, Monoglicéridos, Estearoil Lactilato Ácido y 2% o menos de cada uno de los siguientes ingredientes: Sorbato de Potasio (Conservadores).

El batido control para panqué se preparó de acuerdo a la fórmula propuesta por Kumari *et al.* (2011) con algunas modificaciones, conforme a la tabla 5.

Tabla 5. Formulación base para panqué

Fórmula base	Porcentaje base harina	Cantidad preparada (g)
harina	100	250
polvo para hornear	0.6	1.5
azúcar	60	150
margarina	60	150
huevo	54	135
agua purificada	22	55

Se propuso una formulación reducida 70% en margarina, sustituida parcialmente con aceite de canola (50%) que se etiquetó como fórmula 30-50. Sobre esta formulación se propuso un diseño experimental tipo factorial 2^3 considerando como factores: adición de aceite de chía (6%), grenetina (0.5%), emulsionante (0.3%), todos en base a la harina, obteniendo ocho muestras mas el control (Tabla 6). Las concentraciones propuestas se hicieron considerando que el porcentaje máximo adicionado para ser considerado como aditivo (en el caso de la grenetina y el emulsionante) es el 2% (Kumari *et al.*, 2011), y de esto probar la minima cantidad posible.

Tabla 6. Número de muestras Diseño factorial 2^3 .

Formulación 30-50 Identificación	Aceite de chía 6%	Grenetina 0.5%	Emulsionante 0.3%
(0-0-0)	0	0	0
(0-0-1)	0	0	1
(0-1-0)	0	1	0
(0-1-1)	0	1	1
(1-0-0)	1	0	0
(1-0-1)	1	0	1
(1-1-0)	1	1	0
(1-1-1)	1	1	1
control			

Notación: 0 no adición. 1. adicionada

Procedimiento: i) Se mezcló azúcar, margarina y aceites 2 min a baja velocidad (306 rpm) usando una batidora Hamilton Beach mixer (63232, Hamilton Beach Brands, Inc., Southern Pines, NC, USA), 2 min a velocidad media (380 rpm) y un minuto a velocidad alta (450 rpm); ii) se adicionó el huevo previamente mezclado y batir 2 min a baja velocidad y 2 min a velocidad media; iii) se adicionó la harina de trigo y el polvo para hornear previamente cernidos, 1 min a velocidad baja; iv) finalmente la grenetina previamente disuelta en el agua y mezclar 2 min a velocidad baja. Se colocó 600 g del batido obtenido en un molde para panqué (21 x 11 x 6 cm), y se horneó a 180°C durante 35 min en horno precalentado (Rational Self-CookingCenter® whiteefficiency® Germany).

Gravedad específica (SG)

Se determinó inmediatamente después de preparar el batido. Se calculó dividiendo el peso de una medida del batido por el peso de una cantidad igual de agua a 20°C (Método 72-10-AACC, 2007).

Reología del batido

Viscosidad aparente (μa)

Se determinó usando un reómetro (HAAKE MARS III, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA) con plato paralelo de 60 mm, gap constante (1.0 mm) a 20°C. La velocidad de corte se midió de 0 a 100 s⁻¹ en 5 min; graficando velocidad de corte vs viscosidad aparente. Las determinaciones fueron monitoreadas mediante el programa RheoWin 4 Job Manager, y los parámetros reológicos se calcularon mediante el programa de Rheowin 4 Data Manager software (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA), se realizó una regresión lineal, ajustando los valores al modelo de Ley de potencia de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n$$

En donde σ es el esfuerzo de corte (shear stress) (Pa), $\dot{\gamma}$ es la velocidad de cizallamiento (shear rate) (s⁻¹), K : índice de consistencia (Pa·s), n : índice de flujo (Barnes 2000).

Módulos viscoelásticos G' y G''

Para determinar la region lineal se corrieron barridos de frecuencia dinámicos (0.1 – 10 Hz) a esfuerzo constante ($\gamma = 1\%$), determinándose la region viscoelástica lineal a frecuencia constante (1 Hz) con barridos de amplitud de $\gamma = 0.1$ -100%. Se determinaron los módulos de almacenamiento G' y pérdida G'' así como el módulo de ángulo de fase ($\tan \delta = G''/G'$).

Microscopía electronica de barrido (MEB)

Para observar la microestructura del batido, se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL JSM-6510IV. La muestra congelada se deshidrató siguiendo el método de secado por punto crítico, se recubrió con una capa de oro, para darle carácter conductor. Se obtienen imagenes con acercamiento de 20 a 500 μm .

Microscopía confocal de barrido láser (CLSM)

Se utilizó un microscopio confocal de barrido láser Carl Zeiss LSM 710 para determinar la distribución de los componentes dentro del batido y observar posibles interacciones entre los mismos, así como el tamaño y número de burbujas de aire. Se utilizaron tres fluorocromos: fluoresceína (0.5%) para proteínas, rodamina (0.5%) para carbohidratos y rojo nilo (0.1%) para grasas, reactivos de Sigma Aldrich.

La muestra se preparó como sigue: a 30 g de batido, se le adicionaron 180 μl de fluoresceína y 180 μl de rodamina, incorporando suavemente los colorantes. Otra porción igual de batido se le adicionaron 300 μl de colorante rojo nilo y 180 μl de fluoresceína, incorporándolos suavemente. Se colocaron en contenedores de plástico y se ultracongelaron a -18°C, manteniéndose en congelación hasta su análisis. En un portaobjetos, se colocó una muestra del batido congelado (1-2 mm de espesor) y se observó directamente en el microscopio.

Firmeza

Se determinó firmeza, utilizando un texturómetro Stable Micro System TA-XT plus Texturolab, (Godalming Surrey UK), de acuerdo al método 74-09.01 del AACC (2000). Se cortaron rebanadas de 25 mm de grosor, y se realizó una doble compresión con un émbolo de aluminio de 50 mm de diámetro (P/50), en un intervalo de 5 seg entre cada compresión, ajustando las siguientes condiciones: pre-test 1.0 mm/s; test 1.7 mm/s; 10.0 mm/s post-test; 40% compresión carga de 5 kg. La firmeza se expresó en (N).

Porcentaje de humedad del panqué

Se determinó a las 24 h de haberse horneado el panqué, utilizando una termobalanza Ohaus MB 35. Pesando 1.0 g de muestra y realizando por triplicado.

Segunda etapa

Preparación del batido

A partir de la fórmula reducida 70% en margarina y adicionada de 50% de aceite de canola, (30-50), se prepararon cuatro formulaciones adicionadas de 0 g (0%), 1.88 g (0.75%), 3.13 g (1.25%) y 5 g (2%) de grenetina marca Gelita de 260° Bloom. El tipo de grenetina tiene la ventaja de que se adiciona poca cantidad y el efecto es más perceptible. Se realizaron las siguientes determinaciones:

Gravedad específica y reología del batido

Se determinó **SG, Viscosidad aparente (μ a) y Módulos viscoelásticos (G' y G'')** al batido de acuerdo a la metodología descrita en la primera parte.

Recuento del número y tamaño de burbujas de aire del batido

La microestructura del batido se realizó utilizando un microscopio óptico DM750 (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany) equipado con video cámara EC3. Las imágenes fueron capturadas utilizando un software (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany) basado en la metodología propuesta por (Allais *et al.*, 2006). Las imágenes fueron capturadas utilizando el programa LAS-EZ. La muestra fue colocada en un portaobjetos y se colocó otro portaobjetos haciendo ligera presión para obtener una capa de batido uniforme de aproximadamente 20 μ m de espesor. Se observó con un aumento de 40X. Las muestras se guardaron en formato bpi y procesadas utilizando el programa Adobe Photoshop, para después hacer las mediciones y el recuento utilizando el programa de Image J 1.46r (Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA).

Volumen del panqué

El volumen fue determinado por el método 10-05 AACC, 2010 por desplazamiento con semillas.

Firmeza

Siguiendo la metodología descrita en la primera parte.

Estructura de la miga

Se cortaron rebanadas de 25 mm de grosor y se escanearon (HP Scan-HPLJM1530 MFP Series Scan Idaho, USA) a una resolución de 300 dpi. Las imágenes analizadas fueron del 100% de la rebanada, eliminando la corteza, se guardaron en formato JPEG, posteriormente fueron convertidas a escala de grises (8 bit) y procesadas utilizando el programa Image J software (Image Processing Analysis in Java. Wayne Rasband, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA) (Baixauli *et al.*, 2008), calculando el área total de las cavidades formadas y el área promedio de las mismas.

Evaluación sensorial

Se realizó un test discriminativo (Stone *et al.*, 2012), con 58 jueces no entrenados, 23 hombres y 35 mujeres entre 15 y 65 años de edad, para comparar el atributo de firmeza entre las cuatro formulaciones propuestas. Además, se evaluó el porcentaje de aceptación. Los resultados fueron interpretados mediante un análisis de varianza utilizando el programa Statgraphics X64.

Tercera etapa

Preparación del batido

Se prepararon cuatro muestras de batido con reducción de margarina de 70 y 90%, adicionadas de aceite de canola-chía, 50% y 70% respectivamente, con y sin adición de grenetina (1%), como se detalla en la Tabla 7. El proceso de batido es el mismo descrito en la primera etapa.

Tabla 7. Formulaciones variando cantidad de aceite de canola-chía, y con y sin grenetina (1%)

Formulación (g) Código	Control	Reducción margarina (%)		Adición grenetina (%)	
		70	90	1.0	1.0
		70-0	90-0	70-1	90-1
Harina trigo	250	250	250	250	250
Polvo hornear	2	2	2	2	2
Azúcar	150	150	150	150	150
Margarina	150	45	15	45	15
Huevo	136	136	136	136	136
Agua	56	56	56	56	56
Aceite canola	-	60	80	60	80
Aceite chia	-	15	25	15	25
Grenetina	-	0	0	2.5	2.5

Gravedad específica

Se realizó conforme se indicó en la primera etapa.

Propiedades reológicas

La evolución de las propiedades viscoelásticas del batido durante el horneado, fueron monitoreadas midiendo los módulos de almacenamiento G' y pérdida G'' a frecuencia y amplitud constantes (1.0 Hz y 1%) respectivamente, utilizando un reómetro HAAKE MARS III, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA. Con plato paralelo de 60 mm de diámetro, gap constante (1.0 mm), dentro de un rango de temperatura de 20 a 120 °C, con un aumento gradual de temperatura de 5°C/min. Colocando una cubierta sobre el plato para evitar escurrimiento de la muestra (Lee *et al.*, 2004).

Volumen

Se determinó por el método de desplazamiento de semillas (10-05 AACC, 2010). El mismo que en la primera etapa.

Color

Se determinó el color a la miga del panqué utilizando un colorímetro Minolta Chromameter (CR_300, Minolta Corporation, Ramsey, NJ), en términos de L^* (luminosidad) en escala de 0 a 100, a^* y b^* (coordenadas de cromaticidad).

Firmeza

La firmeza de la miga del panqué fue evaluada 24 h después de horneado, usando un texturómetro TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK). Para la determinación se cortaron rebanadas de 25 mm de grosor, realizando una doble compresión al 40%, usando una sonda cilíndrica de 50 mm de diámetro, con las siguientes condiciones de trabajo: speed 1.0 mm/s, pre-test; speed 1.7 mm/s, test; speed 10.0 mm/s, post-test, de acuerdo al método 74-09.01 (AACC 2010).

Análisis sensorial

Se llevó a cabo una prueba discriminativa con 58 jueces no entrenados, 28 hombres y 30 mujeres con edades comprendidas entre 15 y 65 años, para comparar el grado de aceptación de las cuatro formulaciones estudiadas (Stone *et al.*, 2012). Los resultados fueron interpretados mediante un análisis de varianza usando el programa Statgraphics X64.

Análisis proximal

Se realizó el análisis proximal al panqué control y a la muestra 70-1 que obtuvo la mejor aceptación sensorial. Se siguieron las siguientes metodologías: determinación de humedad (método 935.29), cenizas (método 923.03), proteínas (método micro-Kjeldahl 920.87), grasa total (método 954.02) y fibra dietética total (método 985.29) de acuerdo a los métodos del AOAC (2005).

Perfil de ácidos grasos

La separación de los ésteres metílicos de ácidos grasos, se realizó por cromatografía de gases, para determinar la proporción de ácidos grasos saturados e insaturados. La muestra fue preparada de acuerdo al método 969.33 and 963.22 (AOAC, 2005).

Los ésteres metílicos de los ácidos grasos se extrajeron primero con cloroformo y etanol, seguido de un lavado con NaCl 0.9%, se evaporó el solvente y se formaron los ésteres metílicos adicionando NaOH metanólico y BF₃ en metanol. Se recuperaron los ésteres metílicos en heptano, refrigerando para su posterior análisis por cromatografía.

Se utilizó un cromatógrafo de gases GC-MS (QP2010; Shimadzu, USA) equipado con una columna capilar (Cromlab S. A.) Carbowax (30m largo y 0.25mm diámetro), utilizando Helio como gas de arrastre a flujo constante (1 ml/min). La muestra diluida (1/100 v/v, en heptano), es inyectada manualmente (1.0 µl/min). La temperatura de la columna se programó inicialmente a 40 °C, aumentando gradualmente hasta 240 °C, en un tiempo de 54 min.

Análisis estadístico

Todos los experimentos en cada etapa se realizaron por triplicado. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Turkey a un nivel de significancia de $P < 0.05$, usando el programa estadístico de Statgraphics X64.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primera etapa

Determinación de gravedad específica

La gravedad específica del batido (SG) es un parámetro que indica la cantidad de aire incorporado durante el proceso de mezclado; para productos como el panqué, es deseable un valor inferior a 1.0 (Zelch 2001) y generalmente está relacionado con el volumen y el aspecto de la miga del panqué. En la Tabla 8 se observa que, para todas las formulaciones evaluadas, la SG es menor a 1.0. La combinación de los tres factores (1-1-1) (chía, grenetina y emulsionante) en las cantidades propuestas, es la formulación que más se acerca al valor del control, lo cual nos indica que el balance de estos componentes cumple la funcionalidad de la margarina en cuanto a retención de aire.

La fórmula base reducida 70% de margarina y adicionada de 50% de aceite de canola (0-0-0), tiene un 20% menos de la grasa total, distribuida de la siguiente manera: 30% de margarina y 50% de aceite de canola. Esta formula base sobre la que se probó el efecto de las variables (aceite chía, grenetina o emulsionante) por sí sola, redujo significativamente $P(<0.05\%)$ la SG respecto al control, es decir incorpora mayor cantidad de burbujas de aire, esto puede deberse a que la margarina contiene ácidos grasos de cadena corta (Unilever 2012) que en baja proporción funcionan como agentes emulsionantes entre la interfase aceite-agua (Brooker 1993); la adición de dos de las variables combinadas, en las proporciones propuestas, no modificaron significativamente este valor, mientras que las tres variables combinadas lograron una SG similar al control como se observa en la Tabla 8. Kumari *et al.*, (2011) obtiene características similares al control al adicionar gomas y emulsionantes cuando sustituye 50% de margarina por aceite de girasol. Las formulaciones (1-0-0) y (0-0-1) (adicionadas de aceite de chía o emulsionante), presentaron la menor SG respecto al control, ya que son las muestras que contienen una mayor proporción de grasa. El beneficio que se obtiene al disminuir la SG del batido es un panqué de mayor volumen, suavidad y miga más uniforme (Brooker 1993).

Tabla 8. Gravedad específica en batido y % de humedad en 8 formulaciones de panqué

Muestra	Código	Gravedad específica (SG)	Firmeza panqué (N)	Humedad panqué (%)
Solo reducida	0-0-0	0.900±0.055 ^{ab}	20.05±0.93 ^a	24.50±0.96 ^a
Emulsionante	0-0-1	0.872±0.043 ^a	19.12±0.93 ^a	24.04±0.31 ^a
Grenetina	0-1-0	0.896±0.049 ^{ab}	28.35±1.04 ^{cde}	24.67±0.85 ^a
Gre-emul	0-1-1	0.934±0.030 ^{ab}	29.66±0.93 ^{de}	24.53±0.81 ^a
aceite chía	1-0-0	0.872±0.033 ^a	26.47±0.93 ^{bc}	24.90±0.26 ^a
Chía-emul	1-0-1	0.931±0.039 ^{ab}	24.20±0.92 ^b	25.41±1.47 ^a
Chía-gre	1-1-0	0.920±0.080 ^{ab}	27.00±0.90 ^{cd}	25.16±0.90 ^a
Chía-gre-emul	1-1-1	0.980±0.010 ^c	30.51±0.91 ^e	24.81±0.86 ^a
CTRL		0.990±0.012 ^c	36.41±0.92 ^f	24.08±0.60 ^a

Valores promedio ± desviación estandar de tres repeticiones. ^a letras diferentes en la misma columna, indica que son significativamente diferentes ($P<0.05$).

La mezcla de margarina y aceite vegetal en proporción 30-50 etiquetada como 0-0-0, logró una emulsión de consistencia cremosa y ligera, que incorpora gran número de pequeñas burbujas de aire en la primera etapa de batido o cremado, mientras que para el control que emplea solamente margarina, no se da una incorporación de aire ni suavizamiento de la grasa sólida en esta etapa en el mismo tiempo. La margarina contiene agua y ácidos grasos de cadena corta, que en la cantidad propuesta, estos ácidos grasos actúan como emulsionantes del aceite, de carácter completamente lipofílico, por esto, las formulaciones a base de solo aceite vegetal, requieren de la adición de un agente emulsionante, ya que por sí solo, el aceite produce batidos inestables en donde coalescen rápidamente las gotículas de grasa, y al no disminuir la tensión superficial, las burbujas de aire se rompen fácilmente (Brooker 1993). En otros estudios se reportó una mayor SG del batido al sustituir parcialmente el shortening por un aceite vegetal, adicionando cierta gomas y agentes emulsionantes (Sowmya *et al.*, 2009; Kumari *et al.*, 2011).

En un estudio realizado por Sakiyan *et al.* (2004), demostraron que cuando la cantidad de shortening es alta en productos de panificación, la funcionalidad del emulsionante no es relevante,

esto se debe a que la grasa (shortening) empleada en panificación por si misma tiene la funcionalidad de estabilizar y ayuda a incorporar los demás ingredientes, además tiene una composición específica de ácidos grasos saturados e insaturados que aportan cierta plasticidad y propiedades emulsificantes que contribuyen en la textura y palatabilidad de dichos productos (Cauvain & Young 1998).

Determinación de viscosidad aparente

La viscosidad del batido determina la capacidad de retención de aire durante el horneado. La velocidad a la cual se liberan las burbujas de aire del batido, es inversamente proporcional a la viscosidad. Una baja viscosidad libera fácilmente las burbujas de aire aún antes del horneado, una viscosidad elevada ayuda a incorporar más burbujas de aire al batido, y aporta mayor estabilidad durante el horneado, aunque se ha visto que cuando la viscosidad es muy elevada, puede impedir el crecimiento de las burbujas durante el horneado, resultando en un panqué de menor volumen, tal es el efecto al adicionar ciertas proteínas (Gómez *et al.*, 2007; Handleman *et al.*, 1961; Kim *et al.*, 2001). En la figura 4, se observa la gráfica de velocidad de corte vs viscosidad. En este caso, todas las muestras presentaron comportamiento no newtoniano tipo pseudoplástico, que se adapta al modelo de Ley de Potencia, es decir, al aumentar la velocidad de corte, la viscosidad aparente va disminuyendo hasta llegar a un valor asintótico constante. La viscosidad se sabe es un factor importante para la retención de aire del batido y está relacionado con el volumen y textura del panqué.

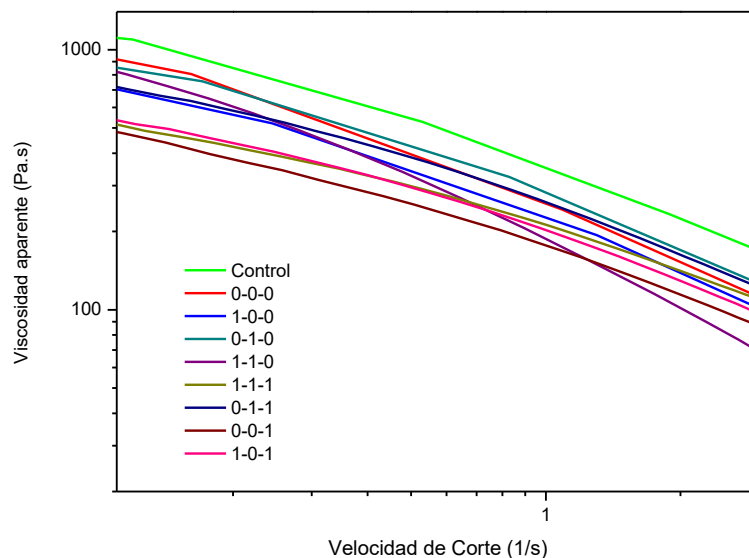


Figura 4

Viscosidad aparente muestras reducidas en grasa y adicionadas de chia, grenetina y/o emulsionante: (0-0-0) solo reducida en grasa; (1-0-0) aceite chía; (0-1-0) grenetina; (0-0-1) emulsionante; (1-1-0) chía-gre; (0-1-1) gre-emul; (1-0-1) chia-emul; (1-1-1) chia-gre-emul)

El control (100% margarina) contiene 38% de grasas saturadas, y representa el 60% de la formulación (base harina), esta cantidad elevada de grasas saturadas pudiera explicar la mayor viscosidad aparente comparada con las demás formulaciones, sin embargo y la mayor SG, es decir, las grasas saturadas en mayor proporción no logran disminuir la tensión superficial como lo hace un agente emulsionante, lo cual afecta la formación y estabilidad de las burbujas de aire (Brooker 1993). La muestra adicionada de emulsionante (0-0-1), presentó la menor viscosidad aparente, el emulsionante empleado contiene ésteres de ácidos grasos de cadena corta y monoglicéridos, que ayudan a dispersar mejor la grasa y favorecen la incorporación de aire.

La adición de grenetina, presentó un valor ligeramente mayor de viscosidad aparente respecto a la adicionada solamente de emulsionante. La adición de hidrocoloides tiende a aumentar la viscosidad del batido, debido a sus propiedades de retención de agua, además está relacionado también con su peso molecular (Ashwini *et al.*, 2009).

Se puede apreciar que las ocho formulaciones propuestas tienen valores muy cercanos al control, lo cual indica un balance adecuado de estas variables, para lograr un producto con características similares al control.

Determinación de módulos viscoelásticos

Las pruebas de oscilación dinámica, aportan información valiosa sobre las propiedades estructurales, indican que tan viscoso o elástico es el sistema, esto es, si se comportan más como fluido o como sólido. En la figura 5, se observó que para todas las muestras predomina el comportamiento viscoso respecto al elástico, es decir los batidos tienen comportamiento de gel débil. Se observó un descenso rápido a valores muy pequeños de amplitud de deformación, lo cual indica la fragilidad del batido al aplicarle un pequeño esfuerzo de corte. Todas las formulaciones presentaron comportamiento similar de ambos módulos, siendo el control el que reporta los valores más elevados debido a la mayor proporción de grasa sólida. Algunos hidrocoloides aumentan el valor de elasticidad respecto al control, que generalmente va asociado a su estructura (peso molecular), sin embargo, depende en gran medida de la cantidad empleada (Dipjyoti & Suvendu 2010). El punto de inflexión en todas las formulaciones ocurre a valores poco mayores de 0.1% de amplitud de deformación, mientras que en el control ocurre antes, esto indica que las variables en estudio ejercen un efecto sinérgico en la estabilidad del batido al aplicar un esfuerzo de corte, es decir, tiene un comportamiento predominantemente de sólido (ver figura 6).

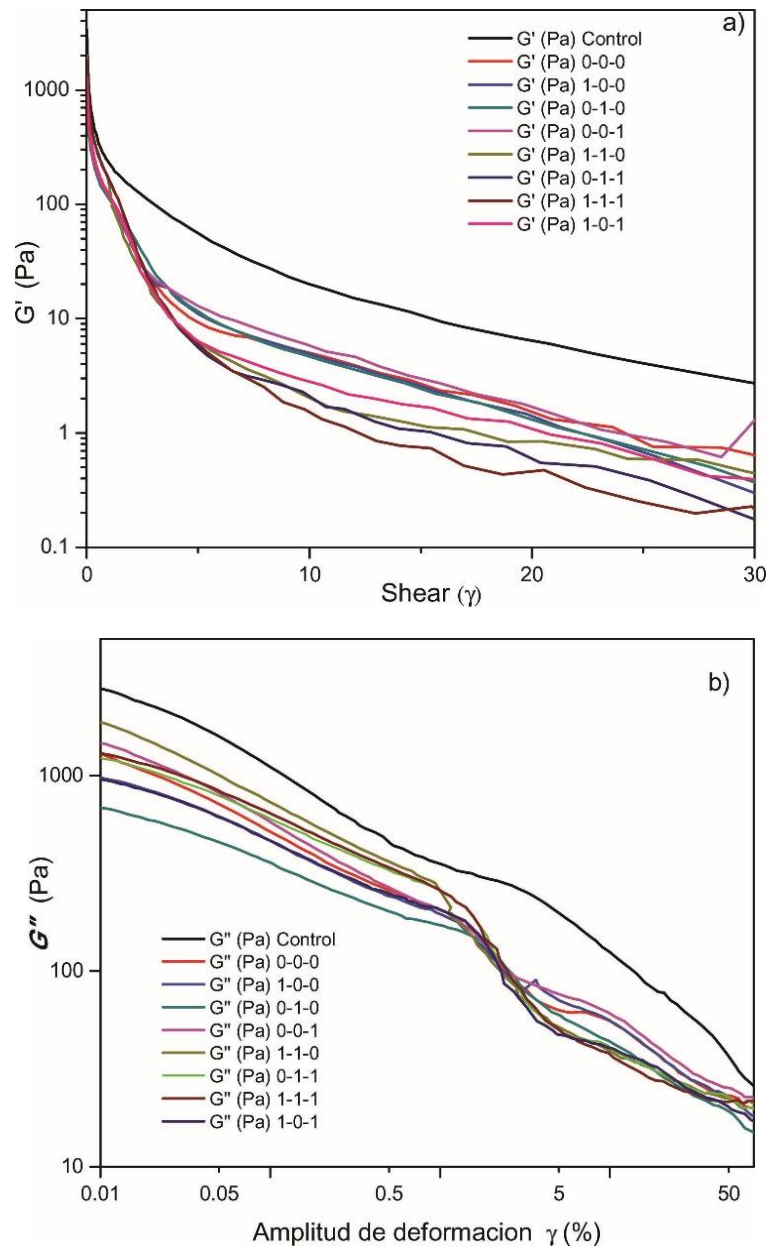


Figura 5

Módulos de viscoelasticidad en ocho formulaciones propuestas adicionando aceite de chía, grenetina y emulsionante: a) módulo de almacenamiento (elasticidad) G' b) módulo de pérdida (viscosidad) G''

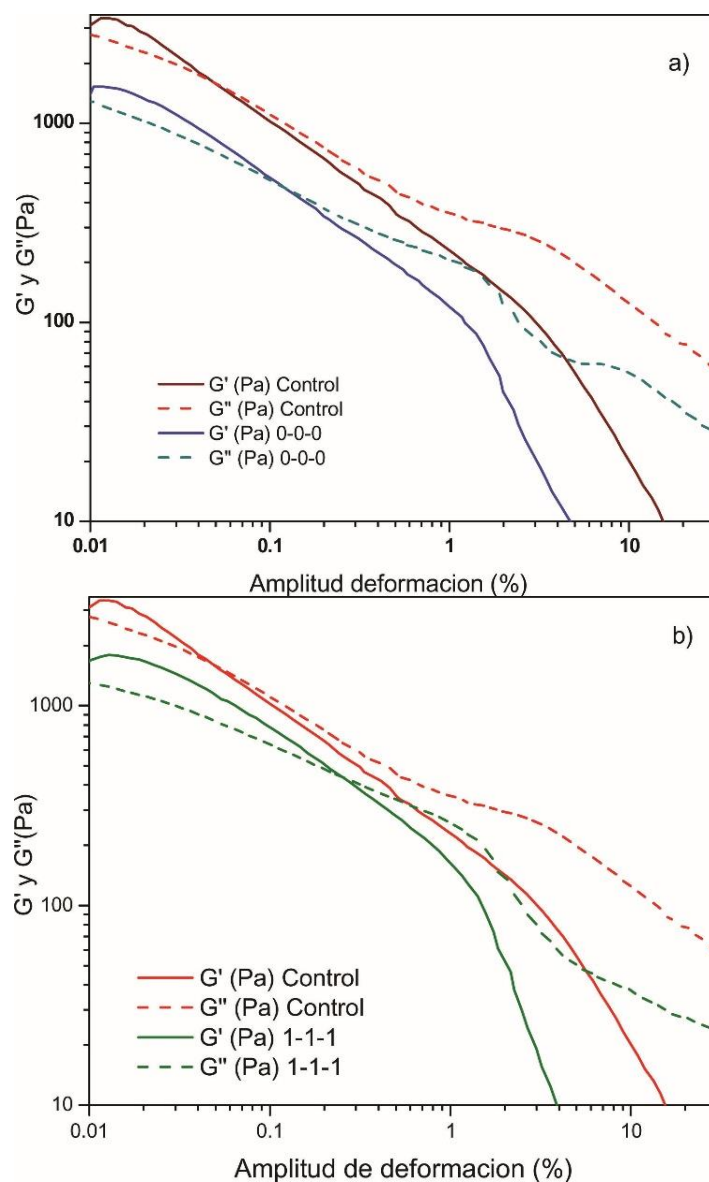


Figura 6

Comportamiento de módulos G' y G'' en: a) formulación reducida en grasa (0-0-0), respecto al control 70%, b) adicionada de aceite de chía, grenetina y emulsionante (1-1-1) respecto al control.

Microscopía electrónica de barrido (MEB)

En la figura 7, se observan las micrografías del batido obtenidas con el MEB. Para tratar de mantener la estructura lo más intacta posible, se deshidrató el batido por secado en punto crítico. En la figura 7a) (1-1-1), están presentes los tres aditivos, aceite de chía, grenetina y emulsionante, se observó una incorporación uniforme de los ingredientes con algunos glóbulos de grasa, mientras que en la figura 7f) (control), se observaron ingredientes, pudiera ser albúmina de huevo, margarina o azúcar que no se incorporaron completamente en el batido.

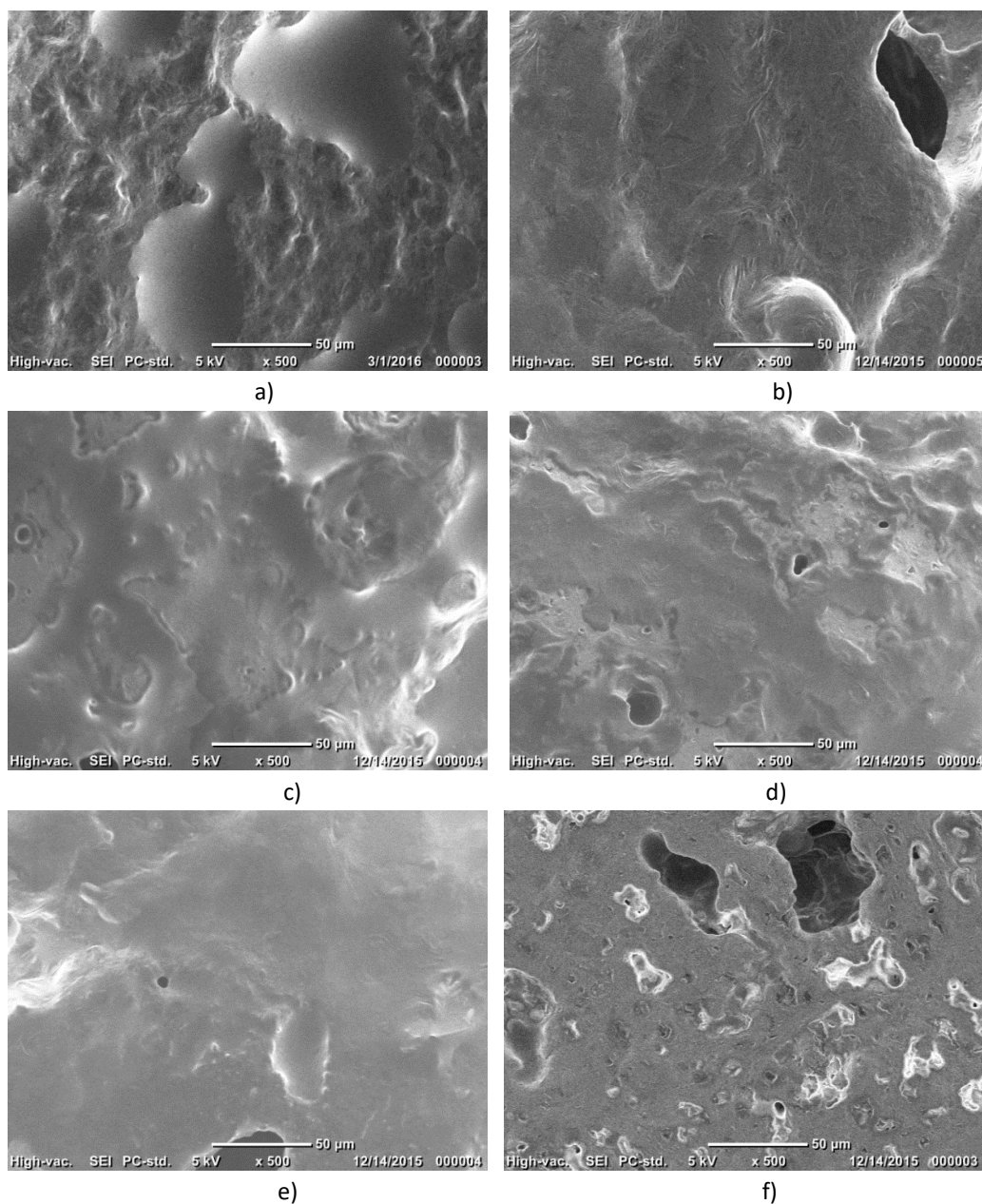


Figura 7

Micrografías MEB batido a) 1-1-1, b) 1-0-0, c) 0-1-0, d) 0-0-1, e) 0-0-0, f) control

Cuando la formulación es solamente margarina (control), esta contiene una alta proporción de grasas saturadas que no favorecen la emulsificación de los demás ingredientes en estas condiciones de proceso (figura 7f). La formulación reducida en grasa, figura 7e) (0-0-0), que es la que se toma como base para incorporar las variables de estudio, se observó homogénea, lo cual puede ser un factor determinante en la estabilidad y uniformidad logradas al adicionar la grenetina, el emulsionante o el aceite de chía, sin haber diferencias significativas en los parámetros de estudio. Cualquiera de las formulaciones reducidas en grasa adicionadas o no de aceite de chía, grenetina o emulsionante, se observaron mas uniformes que el control, aunque también se observó un batido

más frágil, debido a la menor proporción de grasa sólida y a la adición de aceites. Allais *et al.*, (2006), determinaron que la variación de ingredientes y condiciones del proceso (tiempos y velocidades de batido) son determinantes en las características del producto.

Microscopía confocal de barrido láser (CSLM)

La intención de utilizar CSLM fue para observar la distribución de los principales componentes en el batido; proteínas, grasa y almidones (carbohidratos) y el efecto de la combinación de las diferentes variables. En la figura 8, se muestran micrografías del batido usando microscopía confocal. Se siguió la metodología propuesta por Sahi & Alava (2003) para observar el batido, sin embargo, no se obtuvieron los resultados esperados ya que la consistencia era demasiado suave, y al colocarlo sobre la platina para su observación, el calor producido por el rayo láser deterioraba rápidamente la estructura original del batido. la complejidad de la muestra al interactuar los distintos componentes, dificultó la tinción adecuada con los fluorocromos para identificar proteínas (fluoresceína), carbohidratos (rodamina) y lípidos (rojo nilo), sin embargo, de las imágenes obtenidas, por la morfología, se pueden inferir algunos componentes y las burbujas de aire. El comportamiento predominantemente viscoso observado reológicamente, indicó que este batido tiende a un comportamiento más de fluido que de sólido, y esto afectó la observación microscópica por esta técnica. Se han reportado estudios de microestructura en batidos adicionados de almidones pregelatinizados (Hesso, *et al.*, 2015), fibra soluble e insoluble (Rodríguez-García *et al.*, 2012), harina de proteína vegetal (Matos *et al.*, 2014) o gomas, y en todas ellas se reporta un comportamiento predominantemente de sólido (módulo elástico), esto le confiere estabilidad durante el análisis por microscopía confocal, lo que no sucedió en nuestro caso.

De las imágenes obtenidas, se identificaron por la morfología ovalada ciertos gránulos de almidón, continuidad de la red de gluten y algunos fragmentos de grasa. Del mismo modo se apreciaron las burbujas de aire, y hay coincidencia en la proporción de burbujas encontradas por microscopía óptica en donde las muestras reducidas en margarina, contienen mayor número de burbujas y de mayor tamaño que la muestra control.

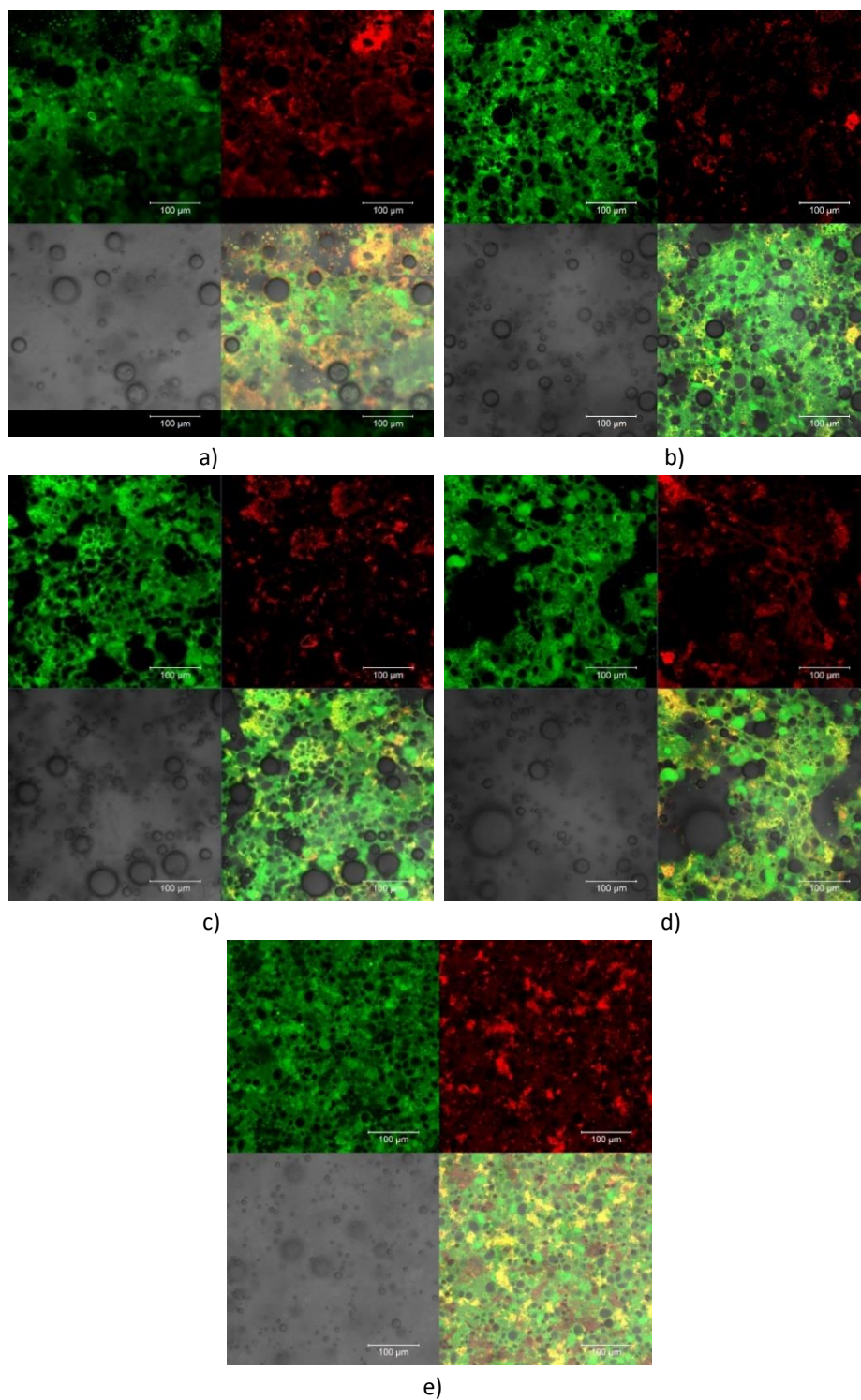


Figura 8

Microscopía confocal de barrido láser, usando fluoresceína y rodamina a) 0-0-0 (solo reducido en margarina más aceite canola), b) 1-1-1 (aceite chía, grenetina, emulsionante), c) 0-1-0 (con grenetina), d) 0-1-1 (con grenetina y emulsionante), e) control

Firmeza

Se realizó el perfil de textura a las ocho muestras y el control, sin embargo, el parámetro más significativo sensorialmente es la firmeza, al adicionar la grenetina. En la Tabla 8 se muestran los valores obtenidos de firmeza en las ocho muestras estudiadas más el control. La muestra reducida en margarina (0-0-0) y la adicionada de emulsionante (0-0-1) presentaron los valores de firmeza más bajos, lo cual concuerda con los valores de SG. Cuando la grasa tiene una función emulsionante, como es el caso de la mezcla de margarina y aceite de canola, se facilita la integración de los demás componentes, reduciendo la tensión superficial y estabilizando las burbujas durante el proceso de horneado, esto se ve reflejado en un panqué más suave y de mayor volumen. La adición de grenetina sola o en combinación con el emulsionante o aceite de chía, aumenta la firmeza del panqué, esto pudiera deberse que después de horneado, la grenetina junto con las demás proteínas, refuerza la red del gluten. Este fenómeno puede apreciarse también en la gráfica de viscoelasticidad con corrimientos de temperatura (figura 17). Se ha visto que la adición de ciertas proteínas al batido, con la finalidad de mejorar el aporte proteico, tienden a aumentar la firmeza del panqué (Marco & Rosell, 2008; Matos *et al.*, 2014).

De manera general, la adición de los tres componentes en las cantidades evaluadas, logra características similares al panqué control. Por tanto, en la siguiente etapa, se toma como fórmula base la reducida en margarina (70%) y adicionada de aceite de canola (50%), omitiendo la concentración de emulsionante y aceite de chía, y adicionado de diferentes concentraciones de grenetina, 0.75%, 1.25% y 2% que es el valor máximo para ser considerado como aditivo, con la finalidad de evaluar el efecto del hidrocoloide proteico en las propiedades reológicas y de textura del panqué.

Segunda etapa

Gravedad específica

En la Tabla 9, se muestran los valores de SG obtenidos de las formulaciones adicionadas de grenetina en un batido reducido en margarina y adicionado de aceite de canola. Se observó que el aumento de SG es proporcional al aumento en la concentración de grenetina. Se ha observado que la adición de hidrocoloides, incrementa la densidad del batido, disminuyendo la capacidad de incorporar aire durante la agitación mecánica (Matos *et al.*, 2014; Gómez *et al.*, 2007). La grenetina es un hidrocoloide proteico que forma geles, su estructura le permite formar enlaces entrecruzados mediante puentes de H, con los grupos OH⁻ libres de la molécula, reteniendo intersticialmente agua (Philips & Williams 2000), esto pudiera explicar por qué la grenetina aumenta la SG del batido. El comportamiento de la SG en batidos es una variable que depende de la formulación, su interacción con otros componentes, el tipo de goma empleado cuando se sustituye grasa (Turabi *et al.*, 2008). El batido control que es reducido en margarina y adicionado de aceite de canola, tiene la menor SG. La capacidad de retención de aire de esta muestra se debe a la estabilidad que aportan las proteínas del huevo y gluten, y a la capacidad emulsionante de la albúmina y yema de huevo (Marco & Rosell 2008).

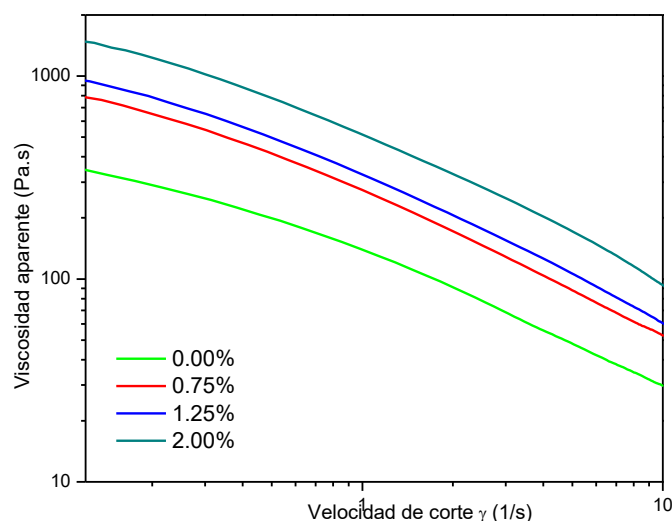
Tabla 9. Gravedad específica (SG) y reología del batido adicionado de grenetina

Concentración grenetina (g/100g)	SG	Modelo tipo Ley de Potencia		
		K (Pa s ⁿ)	n	r^2
0	0.919±0.02 ^a	110.13±10.97 ^a	0.511±0.016 ^a	0.965
0.75	0.945±0.01 ^a	248.31±30.17 ^b	0.448±0.014 ^a	0.982
1.25	0.962±0.02 ^a	312.82±32.29 ^b	0.405±0.061 ^a	0.984
2	1.007±0.02 ^b	320.99±40.72 ^b	0.419±0.103 ^a	0.998

Valores promedio ± desviación estandar de tres repeticiones. ^a letras diferentes en la misma columna, indica que son significativamente diferentes (P<0.05).

Viscosidad aparente

En la figura 9, se observa la viscosidad aparente de las cuatro muestras. La adición de grenetina incrementa proporcionalmente la viscosidad del batido. El alto peso molecular de los polímeros solubles incrementa significativamente la viscosidad aun en bajas concentraciones, aunque depende de sus propiedades moleculares como tamaño, forma, flexibilidad e hidratación. Cuando se comparan proteínas con el mismo peso molecular, las soluciones de macromoléculas con estructura al azar presentan mayor viscosidad que las que tienen estructuras compactas (Burjandze 1979). De hecho, la mayoría de las soluciones de macromoléculas, incluidas las de proteínas, no presentan conducta newtoniana. En especial a altas concentraciones. Para estos sistemas, el coeficiente de viscosidad baja cuando la velocidad del corte aumenta. Esta conducta se conoce como comportamiento pseudoplástico o shear thinning (Rao & Steffe 1992). El comportamiento pseudoplástico se explica por la posibilidad de que las moléculas de proteína, que son grandes, puedan orientar su eje mayor respecto de la dirección del flujo de su solución (Friberg 2003).

**Figura 9**

Viscosidad aparente, fórmula reducida en margarina 70% con adición de grenetina 0%, 0.75%, 1.25% y 2.0%

De acuerdo a a figura 9, las tres formulaciones adicionadas de grenetina y el control, siguen el modelo de Ley de potencia y presentan comportamiento pseudoplástico. La viscosidad aparente, aumentó proporcionalmente al aumentar la concentración de grenetina, en este caso, una mayor viscosidad no está relacionada con una mayor retención de aire (menor SG), debido a la formación del gel de grenetina que retiene agua volviendo más denso el batido (Dipjyoti & Suwendu 2010). Las propiedades del flujo del batido se muestran en la Tabla 9, el índice de flujo (n), se encuentra en un rango de 0.405 a 0.511, un valor menor a 1, indica la naturaleza pseudoplástica del batido, No existe diferencia significativa ($P < 0.05$) en el índice de flujo a diferentes concentraciones de grenetina. El índice de consistencia (K), aumentó significativamente ($P < 0.05$) cuando la concentración de grenetina aumentó, esto reduce la capacidad de flujo del batido. Dogan *et al.*, (2005) encontraron que la adición de algunas proteínas, incrementa la capacidad de ligar agua, reduciendo el agua disponible que facilita el movimiento de las partículas en el batido, y consecuentemente eleva la viscosidad respecto al control. La capacidad de retención de agua de la grenetina es similar a otras proteínas. Otros autores han encontrado que se aumenta la viscosidad al adicionar proteínas como gluten (Wilderjans *et al.*, 2008), o cuando se adiciona proteína de soya (Doan *et al.*, 2018).

El coeficiente de viscosidad de la mayoría de las soluciones de proteínas sigue una relación exponencial con la concentración de la proteína debido a las interacciones proteína-proteína e interacciones entre las esferas de hidratación de las moléculas de proteínas (Dogan *et al.*, 2005b). En altas concentraciones de proteínas o en geles donde las interacciones proteína-proteína son numerosas y fuertes, se observa un comportamiento viscoelástico. En este caso se requiere, para iniciar el flujo, de una fuerza específica también conocida como yield stress.”

Módulos viscoelásticos G' y G''

Se evaluó el comportamiento viscoelástico del batido para panqué, determinando la región viscoelástica lineal a frecuencia constante (1 Hz) con barridos de amplitud de $\gamma = 0.1-100\%$. En la figura 10 se observó que los módulos elástico y viscoso son mayores en batidos adicionados de grenetina, que en el control. El aumento en ambos módulos G' y G'' es proporcional a la concentración de grenetina. Al inicio de la prueba, predominó el módulo elástico, sin embargo, a valores mayores de 0.1% de amplitud de deformación, se observó el punto de inflexión de elástico a viscoso. El gel de grenetina, es un gel débil que cede en su estructura al aplicar pequeños esfuerzos. El punto de inflexión para la muestra sin grenetina ocurre en 0.12% de esfuerzo, mientras que con adición de 2% de grenetina, permanece como elástico hasta un valor aproximado de 0.5% de esfuerzo. Esta tendencia indica que la adición de grenetina favorece un comportamiento más de sólido que de líquido (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017).

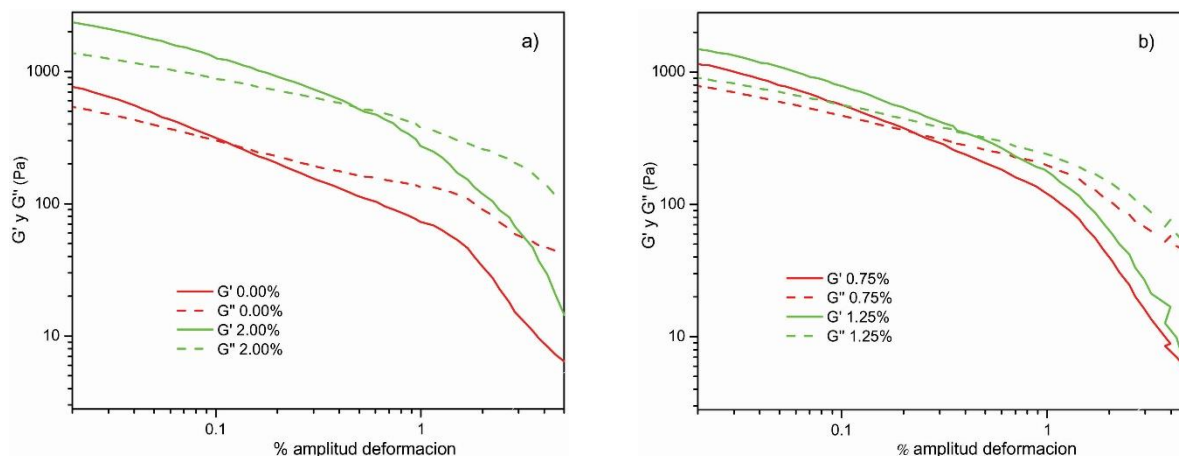


Figura 10

Módulos viscoelásticos G' y G'' a) 2% grenetina vs control, b) 0.75% y 1.25% grenetina

Número y tamaño de burbujas en batido

En la figura 11, se observa que a medida que aumenta la concentración de grenetina disminuye el número y tamaño de burbujas de aire. El número de burbujas se reduce aproximadamente un 50% cuando se adiciona grenetina, como se observa en la Tabla 10. La muestra control (11 a) es un batido reducido 70% en margarina y adicionado de aceite de canola, es la que contiene más burbujas de tamaño heterogéneo ($0.5\text{-}2230\ \mu\text{m}^2$), mientras que la adición de 2% de grenetina (11 d) muestra el menor número (81) y de tamaño diez veces menor ($0.5\text{-}220\ \mu\text{m}^2$). El número, tamaño y distribución de burbujas de aire en un batido, determina la textura final del panqué, si los componentes del batido son estables a la temperatura de horneado (Sahi & Alava 2003). Estos valores concuerdan con la SG obtenida (mayor SG, menor incorporación de aire). Los histogramas (figura 12), muestran gráficamente el número y área promedio de las burbujas en los batidos. El menor número y tamaño, está relacionado con la mayor viscosidad del batido. De acuerdo a Gómez *et al.* (2007), una viscosidad elevada puede obstruir el desarrollo de las burbujas de aire. La grenetina por su capacidad de formar geles y espumas es utilizada para estabilizar postres fríos (Damodaran *et al.*, 2007).

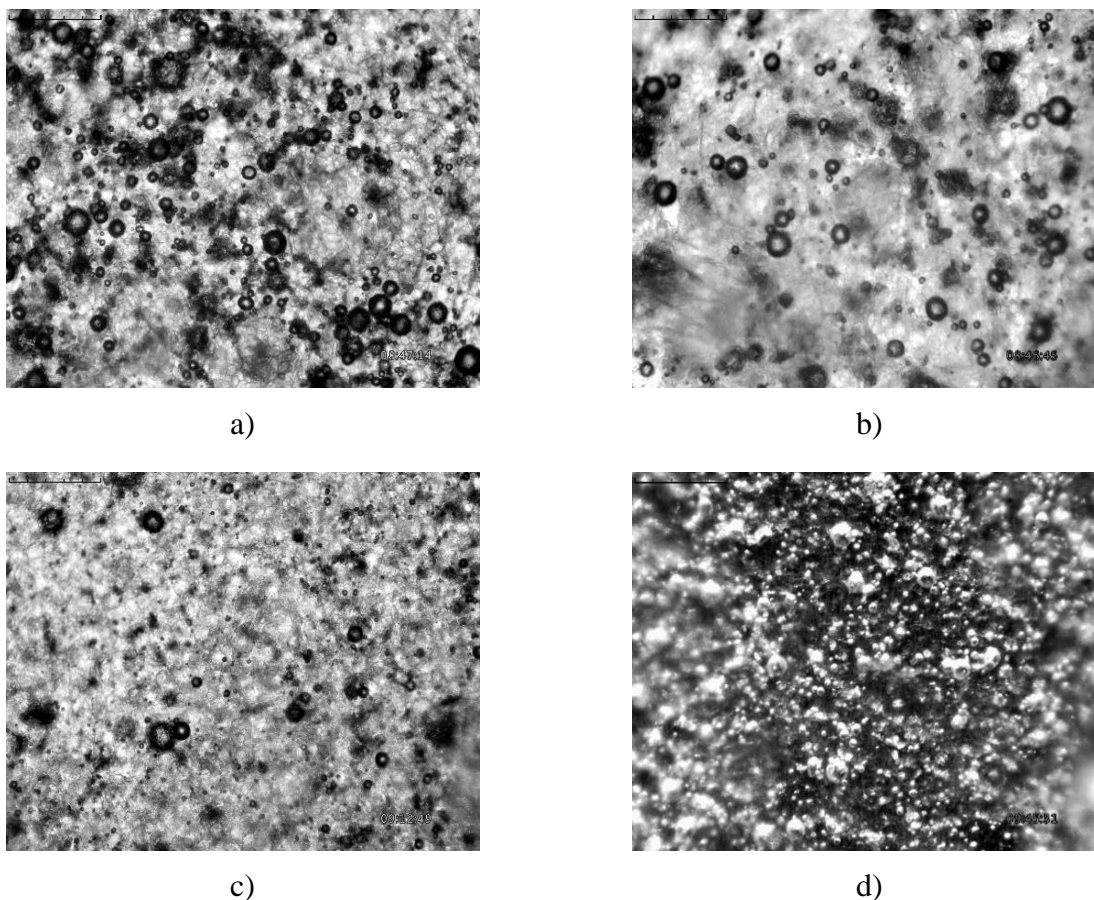


Figura 11

Micrografías del batido adicionado de: a) 0% grenetina, b) 0.75% grenetina, c) 1.25% grenetina, d) 1.25% grenetina.

Tabla 10. Número y tamaño de burbujas de aire incorporadas en el batido para panqué

Adición de grenetina (g/100g)	0%	0.75%	1.25%	2%
Número burbujas	151±37 ^a	97±25 ^b	93±39 ^b	81±12 ^c
Area promedio (μm ²)	215±48 ^a	84±23 ^b	43±18 ^c	34±8 ^c
Area máxima (μm ²)	2230	460	302	221

Valores promedio ± desviación estandar de tres repeticiones. ^a letras diferentes en la misma columna, indica que son significativamente diferentes (P<0.05).

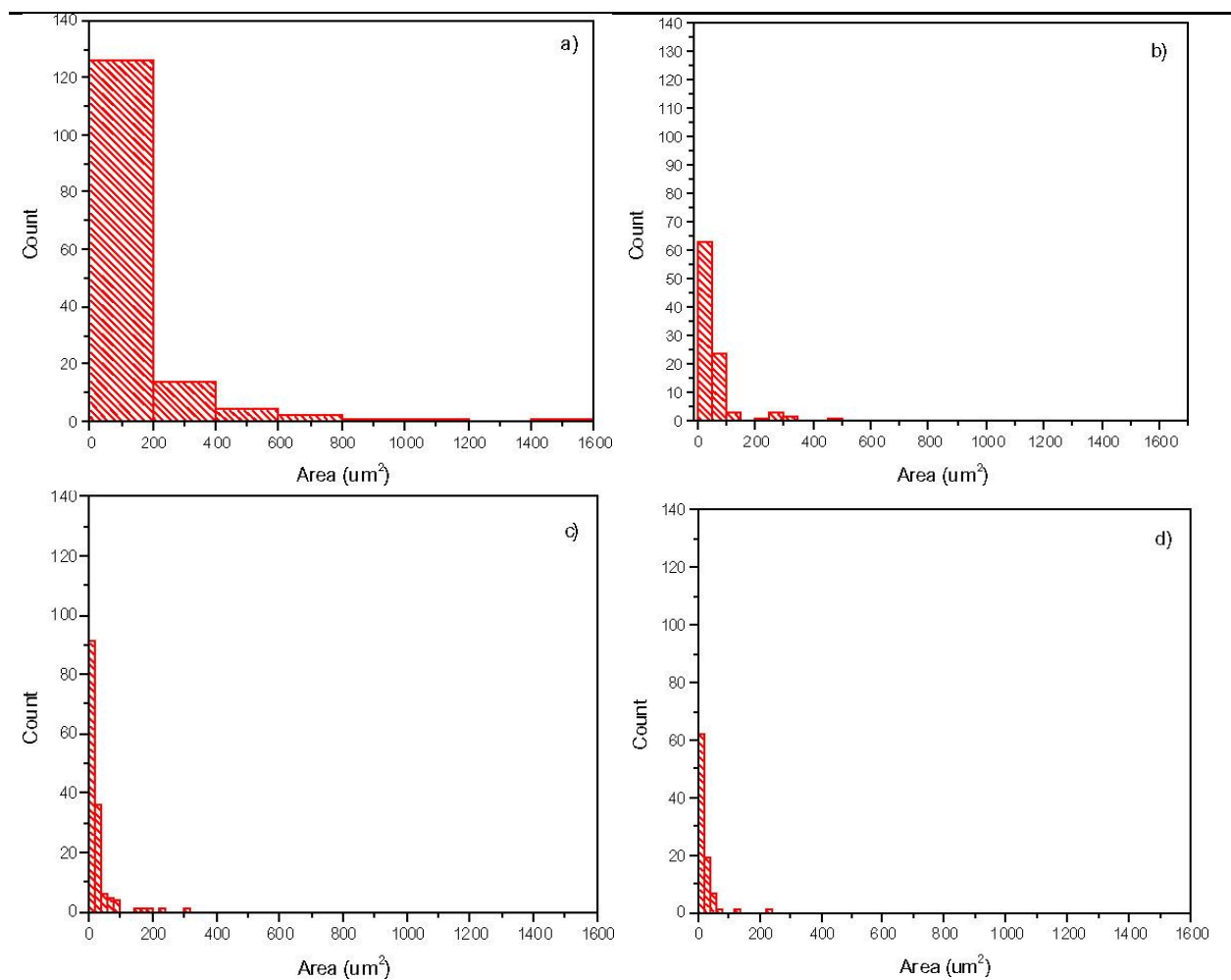


Figura 12

Histogramas de número y tamaño de burbujas de aire en batido adicionado de: a) 0% de grenetina, b) 0.75% grenetina, c) 1.25% grenetina, d) 2.0% grenetina.

Existe ya la tecnología para modificar genética o enzimáticamente las proteínas para mejorar entre otras características, su capacidad emulsificante (Arai & Watanabe 1988), que, aplicada en panificación, se obtienen panes de mayor volumen, sin embargo, no se han realizado investigaciones en sistemas de batidos para panqué.

Estructura de la miga

La estructura de la miga en las rebanadas de panqué se observa en la figura 13, que a medida que se incrementa la concentración de grenetina, se observa una miga más irregular, con celdas o huecos más grandes. Se observa una diferencia significativa ($P < 0.05$) en el número de celdas y área total de los huecos entre el control y las adicionadas de grenetina, acentuándose más a una concentración superior al 1% (ver Tabla 11).

Tabla 11. Análisis estructura de la miga de rebanadas de panqué

Parámetro	Adición grenetina (g/100g)			
	0	0.75	1.25	2
Número de celdas	19.8±5 ^a	61.8±19.4 ^b	112.8±49.8 ^b	78.4±10.6 ^b
Tamaño celdas (mm ²)	2.0±0.5 ^a	3.4±1.5 ^b	4.8±1.4 ^b	8.0±4.7 ^c
Area total cavidades (mm ²)	39.7±12.6 ^a	267.1±85.8 ^b	381.5±188.4 ^c	597.3±315.6 ^c

Valores promedio ± desviación estandar de tres réplicas. ^aValores seguidos de diferentes letra en el mismo renglón son significativamente diferentes (P<0.05).

Entre la muestra con 1.25 y 2% de grenetina, no hay una diferencia en el número de celdas o huecos, pero sí en el tamaño de los mismos, afectando su aspecto. Esto obedece a que el gel de grenetina está conformado por enlaces débiles, que se rompen fácilmente a temperatura superior a 35°C, desestabilizando el gel y produciendo coalescencia de las pequeñas burbujas de aire antes de la coagulación de proteínas y gelatinización de almidón (entre 60 y 75°C) (Dipjyoti & Suvendu 2010; Sánchez-Paz *et al.*, 2018), formando huecos grandes en la miga. Esto no sucede si no se adiciona grenetina. En panificación, las gomas que mejores resultados han observado en cuanto a uniformidad de la miga y volumen son la carboximetil celulosa (CMC) e hidroxipropil metil celulosa (HPMC), que se ha estudiado, forman un complejo con el almidón, que le da mayor estabilidad durante el horneado, obteniendo una miga uniforme y esponjada (Dipjyoti & Suvendu, 2010).

La fuerza y estabilidad de un gel de grenetina depende de factores como la composición de aminoácidos y la distribución del peso molecular, consecuencia de las condiciones de procesamiento (Gómez-Guillén *et al.*, 2011). El contenido de prolina e hidroxiprolina es particularmente importante en la formación del gel. La estabilidad de la estructura de triple hélice, se ha reportado proporcional al contenido de aminoácidos de pirrolidina (Pro, Hyp), las cuales se relacionan con la formación de zonas de nucleación (Ledward 1986). Sin embargo, aunque el aminoácido Pro es importante, Hyp se ha visto, contribuye en la estabilización de la triple hélice que conforma su estructura, debido a la habilidad de formar puentes de hidrógeno con los grupos OH disponibles (Burjandze 1979).

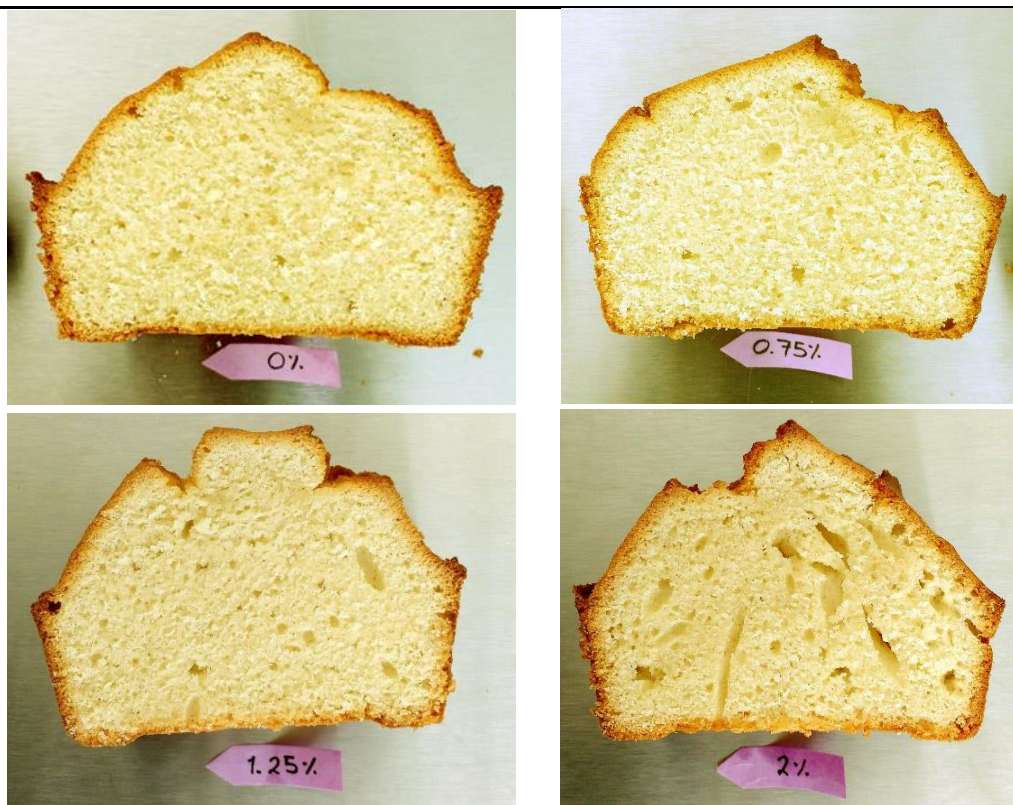


Figura 13

Rebanadas de panqué adicionadas de diferentes concentraciones de grenetina

Perfil de textura en panqué

El perfil de textura (TPA) del panqué se determinó 24 h después de horneado, se determinó firmeza, cohesividad, adhesividad y gomosidad (ver Tabla 12). Se observó que la firmeza aumenta conforme va aumentando la concentración de grenetina. El valor más alto (26.4 N) lo reporta el panqué adicionado de 2% de grenetina, contra un valor de firmeza de 20.1 N del panqué control. Este incremento en firmeza se debe a que se incorpora menos aire durante el batido y coalescen algunas burbujas de aire durante el horneado, antes de formar la estructura sólida del panqué, debido a la fusión del gel de grenetina, lo que resulta en un panqué más compacto y pesado, que también afecta en un menor volumen. La cohesividad indica el desarrollo de enlaces internos de la red tridimensional de proteínas, en este caso, no se observa diferencia significativa entre las diferentes concentraciones de grenetina y el control, debido a que la grasa interfiere en la formación de la red de gluten y albúminas y es constante en todas las muestras (Charley *et al.*, 2004). Masticabilidad es un parámetro dependiente de la firmeza, observando la misma tendencia que la firmeza. La adhesividad es significativamente diferente a concentración de 2% de grenetina, esto debido a una mayor competencia por el agua, dando una sensación de pegajosidad, que en el panqué no es deseable, generalmente este efecto está en función de la concentración del hidocoloide (Dipjyoti & Suvendu, 2010). Gomez *et al.*, (2007), reportaron que la adición de hidocoloides generalmente aumenta la firmeza del pastel, respecto al control.

Tabla 12. Análisis estructura de la miga de rebanadas de panqué

Adición grenetina (g/100g)	Volumen (cm ³)	Humedad (g/100g)	Texture			
			Firmeza (N)	Adhesividad (N/s)	Cohesividad	Gomosidad (N)
0	1108.6±14.6 ^a	27.1±0.9 ^a	20.1±2.5 ^a	0.045±0.02 ^a	0.530±0.02 ^a	10.62±1.09 ^a
0.75	1070.7±11.3 ^b	26.9±0.6 ^a	22.9±2.9 ^{ab}	0.074±0.03 ^a	0.539±0.02 ^a	12.31±1.64 ^b
1.25	1061.4±11.8 ^b	25.5±1.6 ^a	23.3±4.6 ^{ab}	0.059±0.01 ^a	0.550±0.02 ^a	12.73±2.37 ^b
2	979.3±9.3 ^c	26.5±1.2 ^a	26.4±5.9 ^b	0.100±0.06 ^b	0.536±0.02 ^a	14.01±2.59 ^b

^aValores seguidos de diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Determinación de humedad

La determinación de humedad se realizó 24 h después de horneado el panqué, en la Tabla 12 se observa que no hay diferencia significativa en las muestras adicionadas de grenetina y el control. En panificación, los hidrocoloides como las gomas ayudan a retener humedad, cuando se reduce o sustituye la grasa, sin embargo, esta habilidad depende de la estructura química y de su interacción con el resto de los ingredientes (Dipjyoti & Suvendu, 2010). Las gomas interactúan con el almidón y esto favorece la retención de agua, lo cual no ocurre con la grenetina. Se dice que el gel de grenetina es ionotrópico, es decir requiere de calentamiento inicial, seguido de enfriamiento para formar el gel (Glicksman, 1982), entonces, la capacidad de enlazar agua de la grenetina, se da en la etapa de enfriamiento, que es cuando realmente se forma el gel y es cuando ya se ha evaporado una buena proporción de agua del batido. Además, esta capacidad se ve disminuida por la presencia de los demás ingredientes, y en donde ya se han dado otro tipo de interacciones entre los mismos (Dipjyoti & Suvendu, 2010). En un estudio reportado por Gómez *et al.* (2007), determinaron que los pasteles adicionados de hidrocoloides, generalmente muestran baja pérdida de humedad durante el horneado respecto al control, mostrando además una velocidad de deshidratación similar durante tres días de almacenamiento.

Determinación de volumen del panqué

En la Tabla 12 se muestra que el volumen del panqué adicionado de 0.75%, 1.25%, and 2% de grenetina, es significativamente menor ($P < 0.05$) que el control. El volumen va disminuyendo a medida que se incrementa la concentración de grenetina, como se observa en la figura 14. Existe una relación entre el incremento de SG, el menor número de burbujas y la disminución de volumen, al adicionar grenetina. Generalmente la viscosidad del batido es un factor determinante en la retención de aire durante el horneado. Batidos con baja viscosidad, no retienen suficientemente el aire en el batido, resultando en menor volumen, mientras que una elevada viscosidad puede limitar la incorporación de aire y la expansión de las burbujas durante el horneado (Ronda *et al.*, 2011). La presencia de burbujas de aire, es esencial, y puede ser vista como el núcleo de expansión del pastel.

Conforme la temperatura se eleva durante el horneado, el batido se adelgaza y algunas burbujas sufren coalescencia con alguna pérdida de gas. La tasa de coalescencia depende del tamaño de las burbujas y más importante, de la variación en tamaño de las burbujas. Las burbujas pequeñas de tamaño uniforme, imparten estabilidad a la mezcla y producen un pastel de textura muy fina. Sin embargo, la fusión del gel al calentar el batido, produce coalescencia de las burbujas de aire, que

una parte de ellas se liberan antes de solidificar la estructura, produciendo un panqué más compacto de menor volumen, como se observa en la figura 13.



Figura 14

Panqués adicionados de grenetina, izquierda a derecha: 2.0%, 1.25%, 0.75%, 0%.

En formulaciones reducidas en grasa, la adición de hidroxipropil metil celulosa (HPMC) da soporte al batido, contribuyendo a una buena retención de aire y estabilidad durante el horneado, debido al complejo formado con el almidón que se refleja en una miga uniforme y un mayor volumen, lo cual no ocurre con la grenetina, que, por su estructura formada de enlaces débiles, es menos estable a la temperatura (Dipjyoti & Suvendu, 2010). Algunos estudios han reportado que la combinación de diferentes gomas tiene un efecto sinérgico, es decir logran un mejor volumen con buena retención de humedad (Gómez *et al.*, 2007; Psimouli & Oreopoulou, 2013). Otros autores reportan que la concentración de las gomas empleadas es un factor que determina el mayor o menor volumen de un pastel (Gómez *et al.*, 2007).

Evaluación sensorial

Se llevo a cabo la evaluación sensorial con 58 jueces no entrenados entre 15 y 65 años de edad, 40% hombres y 60% mujeres. Se aplicó una prueba discriminativa para identificar el grado de suavidad de cada formulación, y el nivel de preferencia de cada una, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 13. Esta prueba coincidió con la firmeza reportada por TPA, es decir, los panelistas identificaron la muestra adicionada de 2% de grenetina como la menos suave, y el control como la mas suave. Las muestras adicionadas de 0.75 y 1.25% de grenetina no detectaron diferencias significativas en la suavidad. La muestra que tuvo mayor agrado fue la adicionada de 1.25% de grenetina, con un 34.5% de aceptación, debido a que se percibe una miga más húmeda y consistente, seguida del control (24%) que agrada su suavidad, aunque la miga es más desmoronable, de aquí se concluye que, no necesariamente el panqué más suave es el que más agrada.

Tabla 13. Análisis sensorial Prueba de Ranking

Parámetro	Adición de grenetina (g/100g)			
	0	0.75	1.25	2
Puntuación textura*	3.40±0.94 ^a	2.76±0.80 ^b	2.47±0.86 ^b	1.38±0.81 ^c
Preferencia (%) **	24	19	34.5	22.4

* Grado de suavidad (1 menos suave, 4 más suave) ^aValores seguidos de diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05). ** La preferencia considera la consistencia de la miga

Tercera etapa

Habiendo determinado el efecto que produce la adición de diferentes concentraciones de grenetina en las propiedades del batido y en las características del panqué. Se propusieron dos formulaciones variando el porcentaje de reducción de margarina (70 y 90%), sustituyendo parcialmente 50 y 70% con diferente proporción de una mezcla de aceite de canola-chía (4:1), con y sin adición de 1% de grenetina (ver Tabla 14). Se determinaron las características del batido y panqué, evaluando sensorialmente estas formulaciones y determinando el perfil de ácidos grasos y análisis bromatológico a la formulación de mayor aceptación.

Tabla 14. Formulación panqué con diferente proporción de margarina y aceite de canola-chía (proporción 4:1) y grenetina

Formulación (g)	Control	Reducción margarina (%)		Adición grenetina (%)	
		70	90	1.0	1.0
Identificación		70-0	90-0	70-1	90-1
harina trigo	250	250	250	250	250
polvo p/ hornear	2	2	2	2	2
azúcar	150	150	150	150	150
margarina	150	45	15	45	15
huevo	136	136	136	136	136
agua	56	56	56	56	56
aceite canola	-	60	80	60	80
aceite chia	-	15	25	15	25
grenetina	-	0	0	2.5	2.5

Gravedad específica

En la Tabla 15. se observó que la reducción de margarina 70% y 90% y la adición de aceite de canola-chía 50% y 70%, disminuyeron la SG respecto al control, debido a que la mezcla margarina aceites, mejoran la incorporación de los demás ingredientes y contribuyen a la estabilidad de las burbujas de aire, mediante la disminución de la tensión superficial entre las fases aire-grasa-agua. La adición de 1% de grenetina aumentó la SG en las muestras, debido a la formación del gel, que retiene agua del batido, La adición de hidrocoloides a un batido reducido en grasa aumenta la SG en parte explicado por el peso molecular del hidrocoloide que generalmente son gomas (Sowmya *et al.*, 2009). La mayor densidad producida por la grenetina dificulta la incorporación de aire (Dipjyoti & Suvendu, 2010) (Sánchez-Paz *et al.*, 2018).

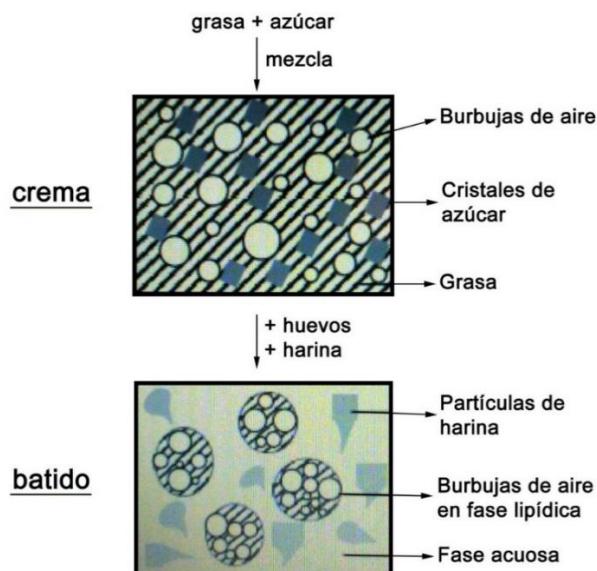
Tabla 15. Características físicas del panqué

reducido 70% en margarina sin adición de grenetina (70-0) y adicionado de 1% de grenetina (70-1) y reducido 90% en margarina, sin adición de grenetina (90-0) y adicionado de 1% de grenetina (90-1)

Muestra	Batido panqué	Panqué	
	Gravedad específica (SG)	Volumen (cm ³)	Firmeza (N)
Control	0.994±0.003 ^a	1058±42.7 ^a	82.50±7.80 ^d
70-0	0.962±0.01 ^b	1197±9.7 ^b	35.71±3.70 ^a
70-1	1.010±0.02 ^c	1010±73.5 ^a	59.51±6.53 ^c
90-0	1.034±0.01 ^d	1002±39.6 ^a	49.69±5.82 ^b
90-1	1.063±0.01 ^e	1026±77.3 ^a	54.35±9.44 ^{bc}

^aValores seguidos de diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).

El proceso de acremado inicial (margarina-aceite-azúcar) es una etapa importante en la retención de aire en el batido, en donde se forma la primera emulsión de aire en grasa (ver figura 15). En la figura 16, se observa el comportamiento de las grasas durante el acremado; cuando predomina el aceite (90-0) este no se emulsiona e incorpora poco aire, cuando se tiene una mezcla de 30% margarina y 50% aceites (70-0), se forma una emulsión suave, cremosa y ligera, y cuando solo se tiene margarina (control), no hay incorporación de aire en esta etapa. En la primera etapa del batido, el azúcar contribuye al efecto de nucleación, esto es, favorece la formación de las burbujas de aire, y aporta agua en pequeña cantidad para la emulsificación de las grasas (Charley *et al.*, 2004).



Shepherd and Yoell (1976)

Figura 15

Diagrama del proceso de batido por etapas.

En la muestra 70-0, la margarina en baja proporción (30% de la grasa total), actúa como agente emulsionante entre el agua y el aceite.



a) Batido grasas RM* 90%

b) batido grasas RM 70%

c) batido grasa control

*RM (reducción margarina)

Figura 16

Proceso cremado, grasas más azúcar: a) 10% margarina, 70% aceite, b) 30% margarina, 50% aceite, c) 100% margarina

El proceso de formación de la emulsión consiste en adsorber los cristales de grasa de la margarina en la superficie de las burbujas y orientar el extremo hidrofílico hacia el agua para lograr que las dos interfases sean continuas (aceite-agua), lo que favorece la estabilización de las burbujas de aire en la emulsión grasa-aire-agua (Brooker, 1993), reflejándose en una menor SG del batido respecto a la muestra 90-0 (70% aceite y 10% margarina). El control, contiene un 60% de margarina que a su vez contiene un 38% de grasas saturadas, (Unilever 2012) (valor mayor al recomendado); la adición de grasas saturadas, resulta de una reformulación del producto para mantener las características de una grasa parcialmente hidrogenada y disminuyendo o eliminando las grasas trans que se ha visto tienen efectos adversos en la salud (Euromonitor International, 2009). Esta proporción de grasas saturadas pudiera explicar por qué su incorporación durante el batido no es tan eficiente en los tiempos de batido evaluados.

Por otra parte, el aceite por sí solo no tiene capacidad emulsionante debido a la composición de ácidos grasos insaturados de cadena más larga (C18– C20), que le da un carácter no polar, y que solamente se dispersa en fase acuosa produciendo emulsiones inestables, y coalescencia de las burbujas de aire (Fernández 2006).

Reología del batido

Para observar los cambios estructurales del batido para panqué durante el horneado, se evaluaron los módulos de viscosidad (G'') y elasticidad (G') a valores constantes (frecuencia 1 Hz, amplitud 1.0 %) en la región lineal, siguiendo el modelo de Ley de potencia, dentro del rango de temperatura de 20 a 120 °C. La figura 17 presenta el comportamiento de los módulos a diferente temperatura. Para todos los batidos, durante el calentamiento, se observó que el módulo de viscoso G'' predominó sobre el módulo elástico G' , a la frecuencia y amplitud estudiados, es decir, tiene comportamiento más de líquido que de sólido, esto se debe a la mayor cantidad de grasa líquida en la formulación. Una reducción de margarina de 90%, disminuye ambos módulos de ganancia (G')

y pérdida (G'') respecto al control, el aceite, reduce la viscosidad del batido (Kumari *et al.*, 2011). Estos valores concuerdan con los valores de SG obtenidos, es decir, una baja viscosidad propicia una menor retención de aire en el batido. Las formulaciones adicionadas de grenetina (70-1, 90-1), aumentan ambos módulos respecto a la fórmula sin adición de grenetina (70-0, 90-0), lo cual se puede explicar en función de la capacidad de retención de agua durante la formación del gel y al aumento de la concentración de proteína. Sanz *et al.*, (2005), observaron un aumento en ambos módulos al adicionar una alta cantidad de proteína a una formulación de harina de trigo. Hesso *et al.* (2015), reporta un aumento de ambos módulos al adicionar almidón pregelatinizado, debido a la mayor retención de agua de estos almidones. El balance de las grasas sólida y líquida en la fórmula 70-0, tiene un comportamiento viscoelástico similar al control.

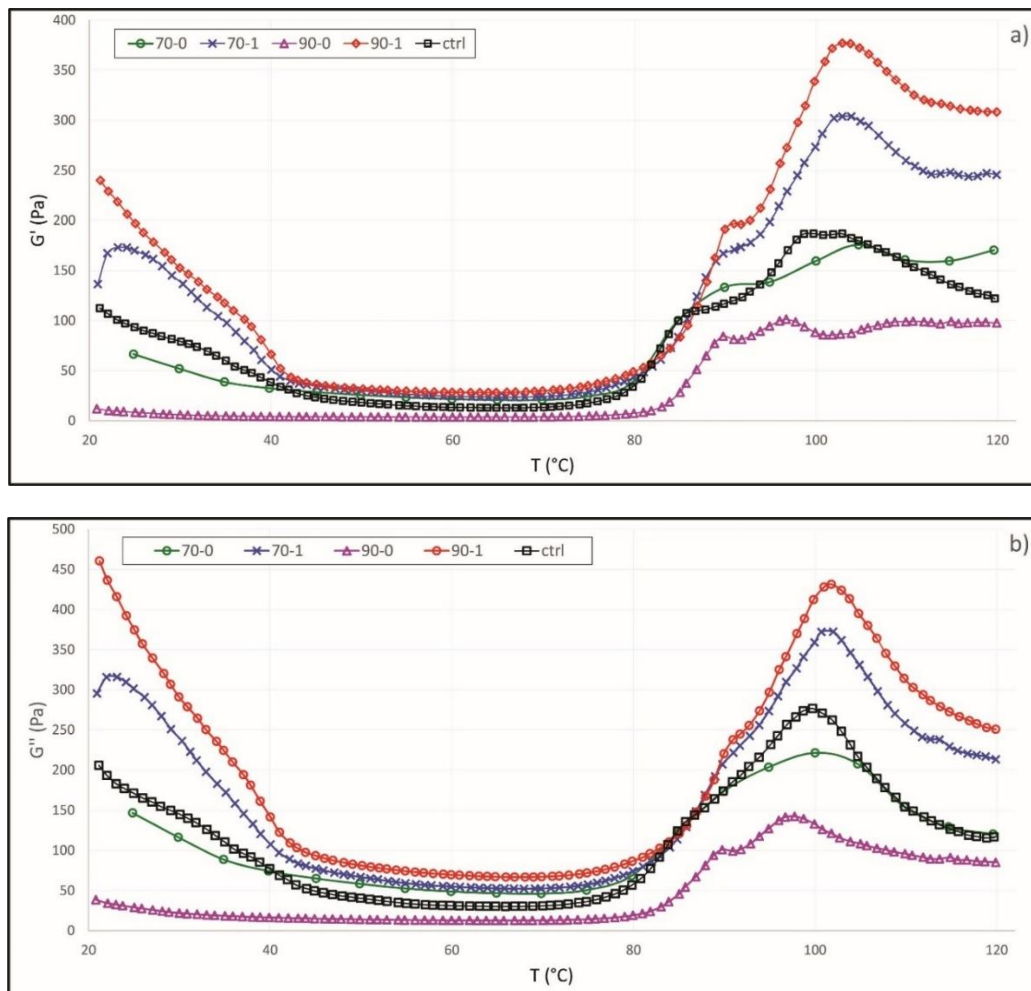


Figura 17

Efecto de la temperatura en la viscoelasticidad a) G' y b) G'' , en diferentes formulaciones reducidas en margarina: 70-0 (70% reducido en margarina, sin grenetina); 70-1 (70% reducido en margarina, mas 1% grenetina); 90-0 (90% reducido en margarina, sin grenetina); 90-1 (90% reducido en margarina, mas 1% grenetina).

Mediante el análisis de viscoelasticidad a diferentes temperaturas, se observa que, a la temperatura inicial de 20°C, los módulos G' y G'' son más elevados en las muestras 70-1 y 90-1 respecto al

control, esto porque la grenetina forma un gel; a medida que aumenta la temperatura, la viscosidad desciende rápidamente debido a la fusión de la grasa sólida y la fusión del gel. El gel de grenetina está estabilizado mediante puentes de H entre los grupos OH- de la cadena proteica, son enlaces débiles que fácilmente se rompen a temperatura superior a 35°C (Dipjyoti *et al.*, 2010). La muestra 90-0 adicionada 70% de mezcla de aceite canola-chía, muestra los valores G' y G'' más bajos (<50 Pa) hasta aproximadamente 80°C, no se observa la curva descendente de las demás muestras debido a la poca cantidad de grasa sólida adicionada y remplazada parcialmente por el aceite de canola, comportamiento que concuerda con lo reportado por (Hesso *et al.*, 2015).

En condiciones ideales, la gelatinización del almidón ocurre entre 58 y 64°C y la desnaturalización o coagulación de proteínas es alrededor de 75°C Wilderjans *et al.*, 2010; Deleu *et al.*, 2017; Damodaran *et al.*, 2007), y la gráfica muestra que entre 80 y 100 °C ocurren ambos procesos. La grasa y el azúcar se sabe, retrasan la gelatinización, por un retraso en el transporte de agua hacia el gránulo de almidón, debido a la formación de complejos entre el lípido y la amilosa durante el horneado (Hesso, *et al.*, 2015). La grasa también interfiere en la formación de la red proteica, acortando la estructura, y debilitándola, produciendo una miga más suave.

El punto de inflexión, es decir, el cambio de fase de líquido a sólido se puede apreciar alrededor de 110°C con el cruce de las curvas G' sobre y G'' . Un dato importante es que el comportamiento viscoelástico ocurre dentro del mismo rango de temperatura para todas las muestras, lo que significa que la adición de aceite o grenetina no interfiere en el proceso de gelatinización de almidones y coagulación de proteínas. Las muestras 70-1 y 90-1 muestran los valores más altos de G'' y G' entre de 80°C y 100°C, debido posiblemente a que la adición del hidocoloide refuerza la red proteica que da la estructura al panqué (Matos *et al.*, 2014). Lo cual concuerda con los valores de firmeza reportados.

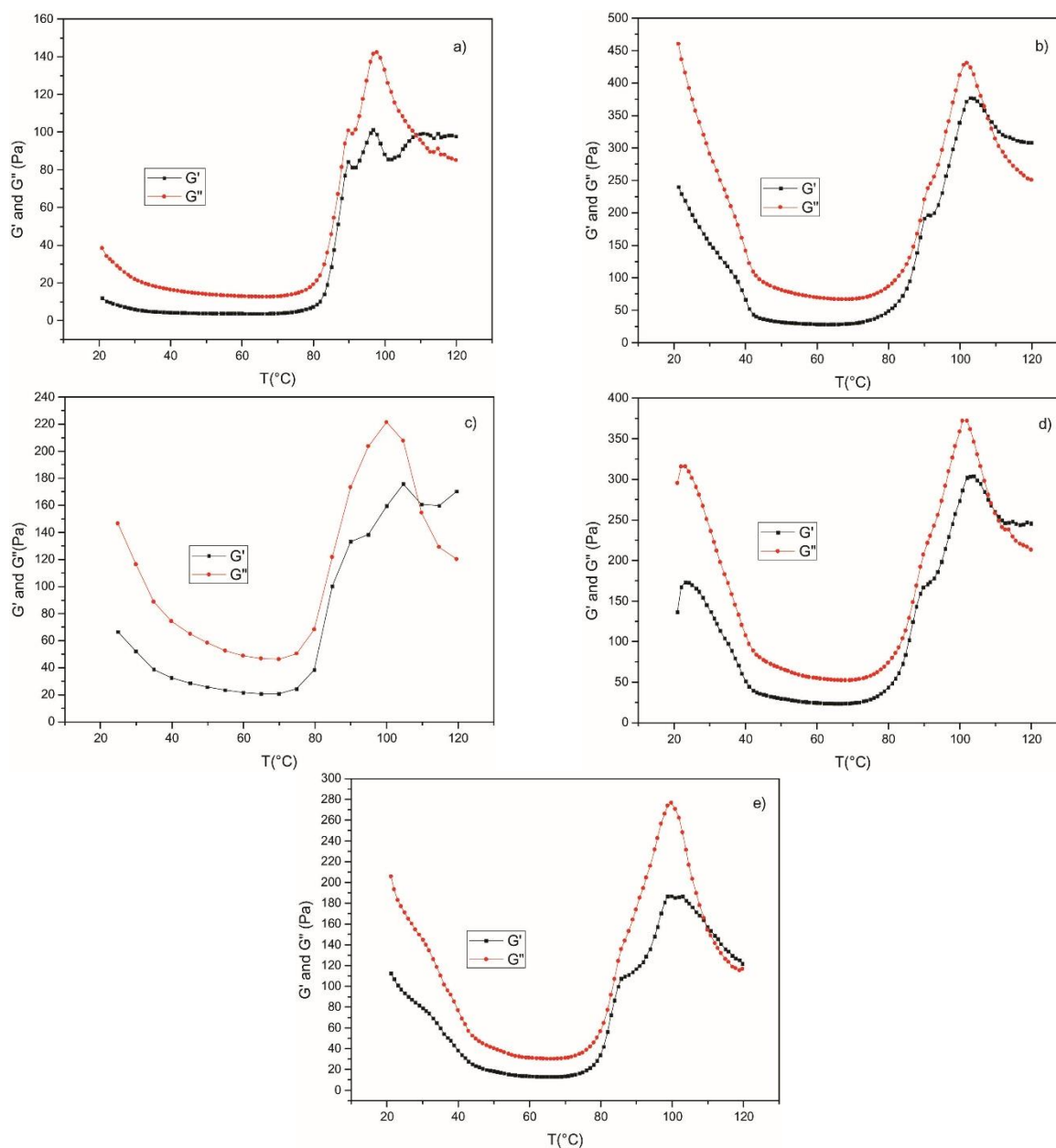


Figura 18

Módulos viscoelásticos G' y G'' a) 90-0 (90% reducido en margarina, sin grenetina, b) 90-1 (reduced 90% margarine and added gelatin), c) 70-0 (reduced 70% margarine and not added gelatin), d) 70-1 (reduced 70% margarine and added gelatin), e) control.

Volumen

En la Tabla 15 se muestra el volumen obtenido en las diferentes formulaciones de panqué. Existe una correlación entre la SG y viscosidad con el volumen de las muestras estudiadas, a mayor gravedad específica, menor incorporación de aire y menor volumen, valores que coinciden con lo reportado por Pismouli *et al.*, (2013). Las muestras 70-1, 90-0 y 90-1 no difieren significativamente ($P < 0.05\%$) en el volumen respecto al control (ver figura 18), excepto la muestra 70-0, que presentó

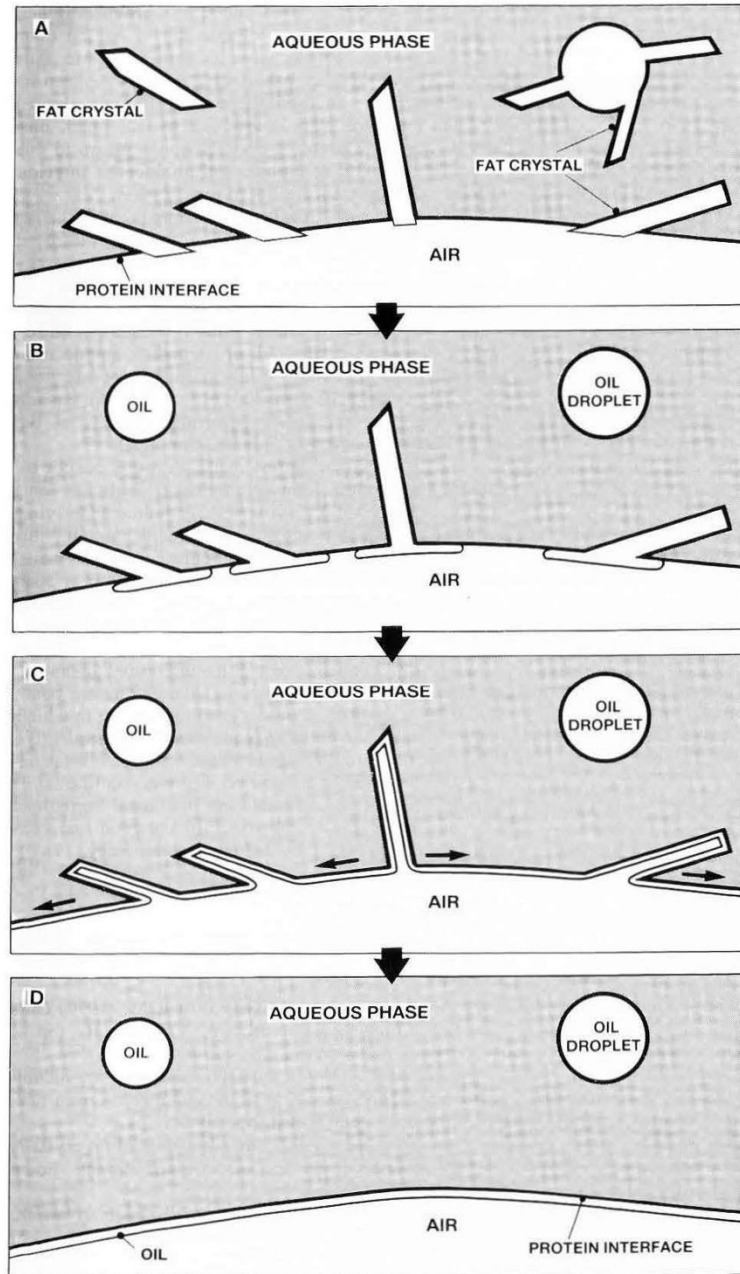
el mayor volumen, que además corresponde al domo característico del panqué. A mayor proporción de aceite, la forma del panqué tiende a formar un pico en la superficie, esto debido a que, durante el horneado, la formación de la corteza es más suave y no alcanza a soportar el crecimiento de las burbujas de aire.



Figura 19

Volumen panqués reducidos 70 y 90% margarina con y sin adición de 1% grenetina

La SG y viscosidad del control y la muestra 70-0 son similares, sin embargo, la diferencia en volumen se debe a la estabilidad de las burbujas durante el horneado que le da la mezcla de aceites con margarina (30% margarina, 50% aceites). La margarina, que en sí es una emulsión agua en grasa (W/O), actúa como un agente emulsionante (por el contenido de ácidos grasos de cadena corta), entre el aceite y el agua. Durante el proceso de horneado, cuando la temperatura va en ascenso, el aire se empieza a expandir, los cristales de grasa adsorbidos a la superficie de la burbuja de aire, empiezan a fundir y la grasa líquida recubre el interior de la burbuja, formando una capa uniforme, facilitando su expansión sin romperse, con el consiguiente aumento de volumen (ver figura 19). Sin embargo, en el control, las formas polimórficas β de los cristales de grasa saturada (38%), incorporan relativamente menos aire, que las formas β' (Brooker 1993; Friberg 2003; Brooker 1993; Friberg *et al.*, 2004).



Brooker (1993).

Figura 20

Representación del comportamiento de la grasa durante la formación del batido y proceso de horneado: A) adsorción de los cristales de grasa en interfase aire-agua; B) fusión de los cristales durante el horneado; C) el aceite fluye en la superficie interna de la burbuja de aire, liberando la interfase grasa-agua y permitiendo la expansión de la burbuja sin romperse y D) en el batido ya horneado, la grasa forma una fase continua en la superficie interna de la burbuja.

Firmeza

En la Tabla 15, se muestran los valores obtenidos de firmeza para las muestras 70-0, 70-1, 90-0, 90-1. La reducción de margarina y adición de aceites en las cantidades propuestas, reduce significativamente ($P<0.05\%$) la firmeza del panqué comparada con el control, debido posiblemente a que la mezcla de grasa sólida y líquida se distribuye de manera más uniforme entre los demás componentes del batido, interfiriendo en la formación de la red de gluten y almidones, y estabilizando las burbujas de aire durante el horneado, produciendo una miga suave (Brooker 1993). La mayor firmeza en el control pudiera deberse a que las grasas saturadas no se incorporan completamente durante el batido, por tanto, la funcionalidad de facilitar la expansión de la burbuja de aire durante el calentamiento se ve limitada (Brooker 1993).

Color y estructura de la miga

El color es una característica importante que determina la aceptabilidad de un panqué. La Tabla 15, muestra los valores de L^* , a^* y b^* obtenidos. El análisis de color muestra una mayor luminosidad (L^*) de la miga en el control, respecto a las muestras adicionadas de la mezcla de aceite de canola-chía. Akesson (2007), reporta que la coloración de la miga se ve afectada por los ingredientes de la fórmula más que por la reacción de Maillard. En otros estudios se observó una reducción en los valores de todos los parámetros de color evaluados en pasteles con la adición de harina de chí, es decir, se obtuvo una miga más oscura Luna *et al.*, (2013), Silveira, *et al.*, (2015). Todas las muestras tienden más al amarillo (b^*) que al rojo (a^*), disminuyendo (b^*) a medida que se incrementa la proporción de aceite, es decir tiende a una coloración marron, que visualmente es más agradable. En la figura 20 se muestra la estructura de la miga de las diferentes formulaciones, las muestras 90-0 y 90-1, produce cavidades más grandes en la estructura de la miga, posiblemente debido a que se produce coalescencia de las burbujas de aire antes de la formación de la estructura del panqué debido a la baja viscosidad del aceite y la fusión de la galletina (Sánchez-Paz *et al.*, 2018).

Table 16. Color de la miga de panqué

	Control	70-0	70-1	90-0	90-1
L^*	66.5±2.5 ^a	60.0±1.2 ^b	59.1±1.9 ^b	58.4±2.4 ^b	56.6±2.4 ^b
a^*	11.7±1.1 ^{ab}	11.0±1.3 ^{ab}	12.1±0.4 ^b	11.2±0.9 ^{ab}	10.6±1.3 ^a
b^*	20.5±1.4 ^a	18.7±0.6 ^{ab}	20.6±1.3 ^a	16.4±2.5 ^{bc}	16.1±2.3 ^c

^aValores seguidos de diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

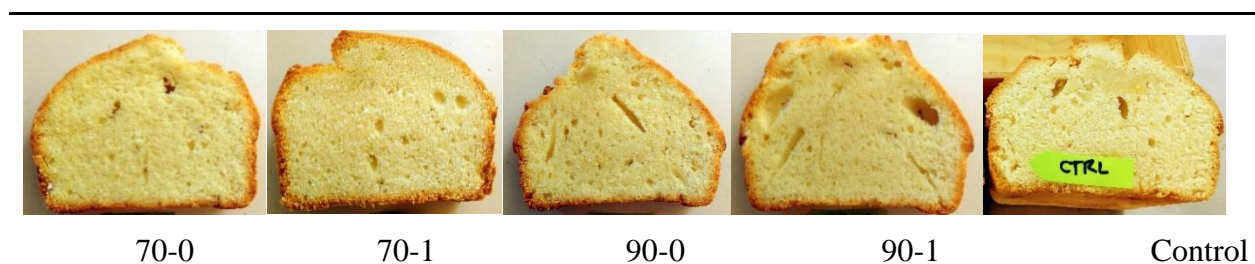


Figura 21

Estructura de la miga de panqué reducido 70 y 90% margarina, con y sin 1% grenetina

Análisis sensorial

Se realizó una prueba de ordenamiento (ranking test), para determinar aceptabilidad de las diferentes formulaciones de panqué, con 58 jueces no entrenados entre 15 y 65 años de edad, 20 hombres y 38 mujeres. En la Tabla 16, se muestran los resultados obtenidos. La muestra de mayor agrado fue la 70-1 con 85.3% de aceptación por tener una miga suave y consistente, y un sabor más agradable. Un estudio con diferentes concentraciones de grenetina en una formulación para panqué reducida en grasa, concluye que la grenetina aporta a la miga humedad y consistencia, que la hacen más agradable al paladar cuando está en una concentración menor a 2% (Sánchez-Paz *et al.*, 2018). La formulación que sigue en aceptación con un 65%, es la 70-0 por tener una miga más suave y sabor agradable, sin embargo, es más desmoronable, la muestra 90-1 y 90-0 tiene son suaves, pero se percibe una miga más seca, con sabor a aceite. Se realizó el perfil de ácidos grasos y el análisis bromatológico a la muestra de mayor agrado (70-1) y al control.

Tabla 16. Prueba de ordenamiento (ranking test)

Formulación	70-0	70-1	90-0	90-1
Escala de agrado*	2.60±1.04 ^b	3.41±0.88 ^a	1.72±0.97 ^c	2.26±0.87 ^b
Preferencia (%) **	65.0	85.3	43.0	56.5

* nivel de agrado (1 gusta menos, 4 gusta más). ^aValores seguidos de diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05). ** La preferencia considera la consistencia de la miga, suavidad, sabor.

Análisis proximal

En la Tabla 17, se muestran los resultados obtenidos del análisis proximal de la muestra 70-1 y control, se observa un incremento de proteína de 0.5% aproximadamente en la muestra 70-1 respecto al control, debido a la adición de grenetina, que se empleó como sustituto de gomas. Se observa también una reducción de 16.5% en la cantidad de grasa total. La chía en harina se ha visto que aumenta el aporte de fibra y ácidos grasos esenciales (Guiotto 2014).

Tabla 17. Análisis proximal panqué

	Proteína (g/100g)	Grasa (g/100g)	Carbohidratos (g/100g)	Humedad (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)
Control	8.43±0.13 ^a	27.07±0.25 ^a	46.2±0.8 ^a	16.63±0.5 ^a	0.69±0.09 ^a	1.03±0.06 ^a
70-1	9.02±0.1 ^b	22.59±0.72 ^b	50.6±0.7 ^b	17.3±0.8 ^a	0.73±0.04 ^a	0.96±0.07 ^a

^aValores seguidos de diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Perfil de ácidos grasos

Se determinó el perfil de ácidos grasos a la muestra 70-1 que mostró mejor aceptación sensorial y al control. En la Tabla 18 se observa para la muestra 70-1, una reducción de aproximadamente 70% en el contenido de ácidos grasos saturados de C8:0 a C14:0 y una reducción de 47% de ácidos grasos C16:0 y C18:0, respecto al control (100% margarina), estos valores son inferiores a los reportados por Luna *et al.*, (2013) en un panqué adicionado de harina de chía. Se elevó 46% el ácido oleico (C18:1), ya que es el ácido graso que predomina en el aceite de canola y también es ligeramente mayor que el reportado por Luna *et al.*, (2013), mientras que el ácido linoléico se mantuvo constante en ambas muestras. El aporte más relevante es el ácido linolénico (C18:3), omega 3, que se incrementó en 79.5% respecto al control, que, en el estudio de Luna *et al.*, (2013), incrementa solo en 50% este valor. En este sentido, el panqué obtenido tiene un aporte importante de omega 3 y puede considerarse como alimento funcional al reducir la relación de W6:W3 a 1.4 :1.

Tabla 18. Perfil de ácidos grasos

Formula (*pf °C)	C8:0 (16.7)	C10:0 (31.6)	C12:0 (44.2)	C14:0 (54.4)	C16:0 (63.0)	C18:0 (69.4)	C18:1 (13.0)	C18:2 (-5.0)	C18:3 (-11.0)	C20:4 (-49.5)
Control	0.76	0.79	11.07	3.92	20.78	9.11	20.18	25.41	3.0	0.27
70-1	0.20	0.22	3.21	1.25	10.91	4.81	37.19	20.61	14.62	0.42

*pf (punto de fusión) ^aValores seguidos de diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).

CONCLUSIONES

En la primera etapa, la adición de CH, GRE, EM en las cantidades y combinaciones propuestas no modificaron significativamente entre sí los parámetros de SG (gravedad específica), viscosidad aparente (μ_a) y módulos viscoelásticos (G' y G''), presentando todos ellos valores menores al control. En todos los casos se presentó un comportamiento pseudoplástico tipo Ley de potencia, predominando el módulo viscoso sobre el elástico ($\tan \delta > 1$).

La mezcla de grasas sólida y líquida logran una emulsión estable, logrando reducir la SG respecto al control, al estabilizar las burbujas de aire en el batido. Se observó una mejor distribución de las grasas en las formulaciones adicionadas de CH, GRE y/o EM, respecto al control y un menor número y tamaño de burbujas de aire en el batido control respecto a los adicionados de CH, GRE y EM. Texturalmente, el parámetro más significativo en el panqué fue la firmeza al adicionar grenetina.

En la segunda etapa, la SG, μ_a y módulos viscoelásticos aumentaron conforme se aumenta la concentración de grenetina. De la misma forma se reduce el número y tamaño de burbujas. El panqué obtenido no difiere significativamente en el contenido de humedad, sin embargo, al aumentar la concentración de grenetina, disminuyó proporcionalmente el volumen y la uniformidad de la miga y aumentó también la firmeza. Sensorialmente la muestra más aceptada fue la adicionada de 1.25% de grenetina por la consistencia y humedad de la miga.

En la tercera etapa, la SG y módulos viscoelásticos disminuyeron al aumentar la proporción de aceites. Los puntos de inflexión (cambio de fase) durante el corrimiento de los módulos G' y G'' con temperatura de 20 a 120°C, no se modificaron por la adición de grenetina o aceite. El panqué adicionado de 90% de aceites, tiene un color más dorado, la miga es menos uniforme y menos firme comparado con el control. Sensorialmente el panqué más aceptado es el reducido 70% en margarina y adicionado de 50% de aceite de canola-chía y 1% de grenetina, con un balance de ácidos grasos omega-6: omega-3 de 1.4:1.

La fórmula base reducida en grasa (30-50), logró una incorporación satisfactoria de las grasas sólida y líquida, que estabilizó las burbujas de aire, en donde se obtuvo un batido con menor SG y viscosidad aparente respecto al control, por lo cual, sería posible prescindir del emulsionante comercial (Vanlite Cake emulsifier®).

Este trabajo mostró, por un lado, la factibilidad de una reducción de grasa hidrogenada en el panqué sin afectar sus características sensoriales y por otro que, la grenetina puede utilizarse en la formulación de un panqué en concentraciones pequeñas (1%) sin afectar la calidad del mismo,

REFERENCIAS

- Ackman, R. (2008a). Fatty acids in fish and shellfish. En C. In Chow (Ed.), *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications* (págs. 155-185.). London, UK.: CRC Press.
- Allais, I., Edoura-Gaena, R., Gros, J., & Trystram, G. (2006). Influence of egg type, pressure and mode of incorporation on density and bubble distribution of a lady finger batter. *Journal of Food Engineering*, 74, 198-210. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.03.014
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist International* (18th ed. ed.).
- American Institute of Baking. (1994). *Applied Baking Technology U.S.A.*
- Ashwell, M. (2005). *Conceptos sobre Alimentos Funcionales*. ILSI International Life Science Institute. Europe Concise Monograph Series, ILSI Press.
- Ashwini, A., Jyotsna, R., & Indrani, D. (2009). Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. *Food Hydrocolloids*, 23, 700–707.
- Ayerza, R., & Coates, W. (2011). Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Industrial Crops and Products*, 34, 1366-1371.
- Badui D. (2015). *Química de los alimentos*. México: Pearson.
- Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A., & Fishman, S. (2008). Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*, 47, 502-509. doi: 10.1016/j.jcs.2007.06.015
- Barnes, H. (2000). *A Handbook of Elementary Rheology*. Aberystwyth, Dyfed, Wales: The University of Wales Institute of Non-Newtonian Fluid.
- Bennion, E. & Bamford, G. (1977). *The Technology of Cake Baking*. Blackie Academic & Professional. USA.
- Brenna, J. (2002). Efficiency of conversion alpha-linolenic acid to long chain n-3 fatty acids in man. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, 5, 127-132.
- Brooker, B. E. (1993). "The Stabilisation of Air in Cake Batters - The Role of Fat. *Food Structure*, 12(3). Obtenido de <http://digitalcommons.usu.edu/foodmicrostructure/vol12/iss3/2>
- Burjandze, T. (1979). Hydroxy-proline content and location in relation to collagen thermal stability. *Biopolymers*, 18, 931-936.
- CANAIMPA. (15 de 09 de 2009). *Enfasis alimentación*. Recuperado el 2018, de Por Cámara Nacional de la Industria Panificadora y Similares de México (CANAINPA)

- Cauvain, S., & Young, L. (Edits.). (1998). *Technology of Breadmaking*. Springer.
- Charley, H., González, A., & Solís, M. (2004). *Tecnología de alimentos: Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. México: Limusa.
- Conforti, F., & Canterella, R. (1998). Effect of commercial enzymes of the baking and keeping quality of fat reduced muffin. *Journal of Food Quality*, 85-94.
- Craig-Schmidt, M., & Teodorescu, C. (2008). Trans-fatty acids in foods. En C. K. In Chow (Ed.), *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications* (págs. 377-437). London, U.K.: CRC Press.
- Damodaran, S., Parkin, K., & Fennema, O. (2007). *Fennema's Food Chemistry* (Fourth Edition ed.). Boca Raton, Florida, USA: Taylor & Francis Group.
- De la Vega, G. (2009). Proteínas de la harina de trigo: Clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 13(38), 27 - 32.
- Deleu, L., Melis, S., Wilderjans, E., Haesendonck, I., & Brijs, K. (2017). Protein network formation during pound cake baking: The role of egg yolk and its fractions. *Food Hydrocolloids*, 63, 226-232. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.07.036>
- Dhaka, V., Gulia, N., Ahlawat, K., & Khatkar, B. (2011). Trans fats-sources, health risks and alternative approach. A review. *Journal of Food Science and Technology*, 48, 534-541.
- Dijkstra A. (2011). *Edible Oil Processing – Refining. Deguming*. Recuperado el 26 de septiembre de 2017, de <http://lipidlibrary.aocs.org/processing/degum-intro/index.htm>
- Dipjyoti, S., & Suwendu, B. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587-597.
- Doan, C., Taverniera, I., Kiyomi, O., & Dewettinck, K. (2018). Internal and external factors affecting the crystallization, gelation, and applicability of wax-based oleogels in food industry. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 42-52.
- Dogan, S., Sahin, S., & Sumnu, G. (2005b). Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*, 1(71), 127-132.
- Eduardo, M., Svanberg, U., & Ahrné, L. (2014). Effect of Hydrocolloids and Emulsifiers on Baking Quality of Composite Cassava-Maize-Wheat Breads. *International Journal of Food Science*. doi:10.1155/2014/479630.
- Enfasis Alimentación. (Julio de 2018). Obtenido de <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/14325-situacion-del-sector-panificados-mexico>
- Euromonitor International. (13 de noviembre de 2009). *Enfasis Alimentación*. Recuperado el 2018, de <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/14325-situacion-del-sector-panificados-mexico>

FAO/OMS. (2010). "Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation. Ginebra: Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Fernández, A. (2006). Preparación, caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones O/W. Tesis doctoral. Universidad de Granada., España.

Freese, R., & Mutanen, M. (1997). α -Linolenic acid and marine long-chain n-3 fatty acids differ only slightly in their effects on hemostatic factors in healthy subjects. *Am J Clin Nutr*, 66, 591-598.

Friberg S. (2003). *Food Emulsions* (Fourth ed.). N. Y.: Marcel Dekker.

Gelita. (22 de septiembre de 2017). <https://www.gelita.com>. Obtenido de <https://www.gelita.com/es/conocimientos/gelatina/propiedades-de-la-gelatina/textura/propiedades-viscoelasticas>

Giacopini, M. (2012). El aceite canola y sus efectos en la salud versión impresa ISSN 0798-0752). *An Venez Nutr*, 25(2).

Glicksman, M. (1982). *Food Hydrocolloids*. Boca Raton, FL, USA.: CRC Publ.

Goesaert, H., Slade, L., Levine, H., & Delcour, J. (2009). Amylases and bread firming - an integrated view. *Journal of Cereal Science*, 50, 345-352.

Gómez, M., Ronda, F., Caballero, A., Blanco, C., & Rosell, C. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and the shelf life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids* (21), 167-173.

Gómez-Guillén, M., Giménez, B., López-Caballero, M., & Montero, M. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25, 1813-1827.

Gómez-Guillén, M., Turnay, J., Fernández-Díaz, M., Ulmo, N., Lizarbe, M., & Montero, P. (2002). Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study. *Food Hydrocolloids*, 16(1), 25-34.

Gray, J., & Bemiller, J. (2003). Bread Staling: Molecular Basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food safety*, 1-21.

Gray, j., & BeMiller, J. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 1-20.

Guiotto, E. (2014). Aplicación de subproductos de chía y girasol en alimentos. Tesis doctoral. Universidad Nacional de la Plata, Argentina.

Gunstone, F. (2001). *Structured and modified lipids*. Marcel Decker.

Handleman, A., Conn, J., & Lyons, J. (1961). Bubble mechanics in thick foams and their effects on cake quality. *Cereal Chemistry*, 38, 294-305.

Hernández-Rodríguez, L., Lobato-Calleros, C., Ramírez-Santiago, C., Rodríguez-Hueso, M., & Meraz, M. (2017). Microstructure and rheology of yoghurt added with protein L-

planatarum. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16, 77-89. Obtenido de <http://www.rmiq.org/iqfvp/Pdfs/Vol.%2016,%20No.%201/Alim2/eAlim2.html>

Hesso, N., Garnier, C., Loisel, C., Chevallier, S., Bouchet, B., & Le-Bail, A. (July de 2015a). Formulation effect study on batter and cake microstructure: Correlation with rheology and texture. *Food Structure* (5), 31-41.

Hoseney, R. (1994). *Principles of cereal science and technology*. St. Paul, MN: AACC International.

Huang, D., Ou B, & Prior R. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J Agr Food Chem*, 53, 1841–1856.

Huth, P. (2007). Ruminant trans fatty acids: composition and nutritional characteristics.

Huth, P. (s.f.). Ruminant trans fatty acids: composition and nutritional characteristics.

Juárez C. (2012) Extensión de vida de anaquel en productos de pastelería para una industria panificadora. Tesis Licenciatura UNAM FES Cuautitlán.

Kalinga, D., & Mishra, V. (2009). Rheological and physical properties of low fat cakes produced by addition of cereal β -glucan concentrates. *Journal of Food Processing and Preservation*. 33, 384-400.

Kim, H., Yeom, H., Lim, H., & Lim, S. (2001). Replacement of shortening in yellow layer cakes by corn dextrins. *Cereal Chemistry*, 78(3), 267-271.

Kodali, D., & List, G. (2005). *Trans Fat Alternatives*. Champaign IL, USA: AOCS Press.

Kumari R., Jeyarani T., Sowmya C., & Indrani D. (2011). Use of vegetable oils, emulsifiers and hydrocolloids on Rheological, Fatty acid profile and quality characteristics of pound cake. *Journal of Textural Studies* (42), 377-386.

Ledward, D. A. (1986). Gelation of gelatin. In J. R. Mitchell, & D. A. Ledward (Eds.), *Functional properties of food macromolecules*. London: Elsevier Applied Science Publishers.

Lee, S., Carriere, C., & Inglett, G. (2004). Effect of nutrim oat bran and flaxseed on rheological properties of cakes. *Cereal Chem.* (81), 637–642.

Luna, P., Lopes, A., Sammán, N., & Chang, K. (2013). Evaluation of whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake. *LWT-Food Science and Technology* (54), 73-79.

Marco, C., & Rosell, C. (2008). Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. *Journal of Food Engineering*, 88(1), 94-103. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.018>.

- Matos, M., Sanz, T., & Rosell, C. (2014). Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins. *Food Hydrocolloids*, 35, 150-158.
- Mensink, R., Sanders, T., Baer, D., & Hayes, K. (2016). The increasing use of interesterified lipids in the food supply and their effects on health parameters. *Advances in Nutrition*, 7, 719-729.
- Moreau, R., & Kamal-Eldin, A. (2009). *Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils*. (Moreau RA, & A. Kamal-Eldin, Edits.) AOCS Press.
- Navarro, V., & Shi, L. (2001). The Political Context of Social Inequalities and Health. *Soc Sci Med.*, 53(3), 481-491.
- Navickis, L., Anderson, R., Bagley, E., & Jasberg, B. (1982). Viscoelastic properties of wheat flour doughs: Variation of dynamic moduli with water and protein content. *Journal of texture studies*, 13, 249-264.
- Nicolosi, R., Stucchi, A., & Kow, M. (1990). Effect of Dietary Fat Saturation and Cholesterol on LDL Composition and Metabolism. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.*, 10(1), 119-128.
- Ognean, C., Darie, N., & Ognean, M. (2006). Fat replacers – Review. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2, 433-442.
- Onyango, C., Unbehend, G., & Lindhauer, M. (2009). Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinised cassava starch. *Food Research International*, 42, 949-955.
- Philips, G., & Williams, P. (Edits.). (2000). Introduction to food hydrocolloids. In: *Handbook of hydrocolloids*. New York: Woodhead Publ Ltd.
- Psimouli, V., & Oreopoulou, V. (2013). The Effect of Fat Replacers on Batter and Cake Properties. *Journal of Food Science* (78), C1495-C1502. doi:10.1111/1750-3841.12235
- Rajah, K. K. (Ed.). (2014). *Fats in Food Technology*. UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Rao, M., & S. J. (Edits.). (1992). *Viscoelastic properties of Foods*. London: Elsevier Applied Science.
- Ronda, F., Oliete, B., Gómez, M., Caballero, P., & Valentín, P. (2011). Rheological study of layer cake batters made ith soybean protein isolate. *Journal of Food Engineering* (102), 272-277.
- Sahi, S., & Alava, J. (2003). Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 1419-1429.
- Sakiyan, O., Sumnu, G., Sahin, S., & Bayram, G. (2004). Influence of fat content and emulsifier type on the rheological properties of cake batter. *Eur Food Res Technol* (219), 635–638.
- Sánchez-Paz, L., Dublán-García, O., Díaz-Ramírez, M., Domínguez-López, A., Arteaga-Arcos, J., & Pérez-Alonso, C. (2018). Effect of added gelatin on rheological and textural properties of a pound cake reduced in margarine. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(3), 777-789.

Santos, F., & Salas-Mellado, M. (2017). Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. *Food Chemistry*, 227, 237-244.

Silveira, C., & Salas-Mellado, M. (2015). Effects of substituting chia (*Salvia hispanica* L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. *LWT - Food Science and Technology*, 60, 729-736. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.10.033>

Sivam, A., Sun-Waterhouse, D., Quek, S., & Perera, C. (2010). Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review. *J. Food Sci.*, 75(8), R163-R174. doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01815.x

Song, J., Miyazawa, T., & Fujimoto, K. (2000). Polyunsaturated (n-3) fatty acids susceptible to peroxidation are increased in plasma and tissue lipids of rats fed docosahexaenoic acid-containing oils. *J Nutr*, 130, 3028-3033.

Sowmya, M., Jeyarani, T., Jyotsna, R., & Indrani, D. (2009). Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural quality characteristics and fatty acid profile of cakes. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1827-1836.

Spiteller, G. (2005). Furan fatty acids: Occurrence, Synthesis, and Reactions. Are furan fatty acids responsible for the cardioprotective effects of a fish diet? *Lipids*, 40: 753-771. *Lipids*, 40, 753-771.

Stampfli, I., & Nersten, B. (1995). Emulsifiers in bread making. *Food Chemistry*, 52, 353-360.

Stone, H., Bleibaum, N., & Thomas, A. (2012). *Sensory Evaluation Practices*. (Fourth ed.). Oxford, U.K.: Academic Press.

Taga, M., Miller, E., & Pratt, D. (1984). Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *J Am Oil Chem Soc*, 61, 928-931.

Torres G., González M., & Acevedo C. (2015). Análisis de perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Reciteia*, 64-72.

Trejo L. (2 de julio de 2017). Alerta por enfermedades cardiovasculares, obesidad y sobrepeso. Libre por Convicción Independiente. Hidalgo.com.mx.

Tricon, S., Burge, G., Williams, C., & Calder, P. (2005). The effects of conjugated linoleic acid on human health-related outcomes. *Proc. Nutr. Soc.*, 64, 171-82.

Tsuzuki, T., Tokuyama, Y., Igarashi, M., & Miyazawa, T. (2004). Tumor growth suppression by α -eleostearic acid, a linolenic acid isomer with a conjugated triene system, via lipid peroxidation. *Carcinogenesis*, 25, 1417-1425.

Turabi, E., Sahin, S., & Sumnu, G. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 305-312.

Unilever. (2012). Flora. Obtenido de (<http://www.institutoflora.com/origen-elaboracion-y-composicion-de-margarinas.php>)

Valenzuela, R., Tapia, G., González, M., & Valenzuela, A. (2011). Omega 3 Fatty acids (EPA and DHA) and its application in diverse clinical situations. *Rev. Chil Nutr*, 38, 356-67.

WHO. (1994). Fats and oils in human nutrition. Rome: Report of a Joint FAO/WHO expert consultation. FAO Food and Nutrition Paper 57, FAO.

WHO. (2003). Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Geneva: Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. WHO Technical report Series 916.

Wilderjans , E., Luyts , A., & Goesaert , H. (2010). A model approach to starch and protein functionality in a pound cake system. *Food Chemistry*, 120, 44–51.

Wilderjans , E., Pareyt, B., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J. (2008). The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten-starch blends. *Food Chemistry*, 110(4), 909-915.

Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., & Delcour, J. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science and Tehnology*, 30(1), 6-15.

Zelch, R. (2001). Batter cakes. Part 1 Ingredients and Formulations. Technical Bulletin. American Institute of Baking, XXIII, 1-10.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACyT, por el apoyo financiero durante la realización del proyecto.

A mis asesores: el Dr. Octavio Dublán García por su gran apoyo incondicional, al Dr. César Pérez Alonso por sus valiosas y oportunas contribuciones al proyecto, aprendí muchas cosas con sus observaciones, a la Dra. Mayra Díaz Ramírez por compartirme su experiencia en el área de alimentos. Gracias a los tres por compartir sus conocimientos y su amistad.

A Chucho Castellón Jardón por su apoyo y amistad de tantos años, por permitirme trabajar en las instalaciones del laboratorio de Cereales de la Facultad de Química de la UAEMex, y darme todas las facilidades, y a Yes Mejía por su invaluable apoyo en todo momento, mi gran amiga.

Al Dr. Miguel Mayorga Rojas y Dr. Juan Carlos Arteaga Arcos, del Departamento de Reología de la Facultad de Ciencias de la UAEMex., por su apoyo en las determinaciones reológicas; a la Dra. Ma. De Jesús Perea Flores del Centro de Nanociencias y micro y Nanotecnología del IPN por su tiempo y dedicación en el análisis por Microscopía confocal de barrido láser, al Dr. Fernando Romero Romero del CIQS por su valiosa colaboración en las determinaciones por Microscopía electrónica de barrido, al Dr. Aurelio Domínguez López, del laboratorio de Textura de alimentos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex., por las facilidades para la determinación de perfil de textura. Al M. en C. Erik Alpizar Reyes por su valioso apoyo en las mediciones reológicas.

ANEXOS

Anexo 1 Artículo científico publicado



EFFECT OF ADDED GELATIN ON RHEOLOGICAL AND TEXTURAL PROPERTIES OF A POUND CAKE REDUCED IN MARGARINE

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE GRENETINA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y DE TEXTURA DE UN PANQUÉ REDUCIDO EN MARGARINA

L. A. Sánchez-Paz¹, O. Dublán-García¹, M. Díaz-Ramírez², J. C. Arteaga-Arcos³, A. Dominguez-López⁴, C. Pérez-Alonso^{1*}

¹Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Colón esq. Paseo Tolloca s/n, Col. Residencial Colón, Toluca, Estado de México, 50120, México.

²Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma. Av. de las Garzas No. 10, Col. El Panteón Lerma de Villada, Municipio de Lerma, Estado de México, C.P. 52005.

³Laboratorio de Micromecánica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, Estado de México.

⁴Facultad de Ciencias Agrícolas. Centro Universitario Km. 15 Carr. Toluca-Ixtlahuaca. El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México. C. P. 50200

Received: February 19, 2018; Accepted: April 29, 2018

Abstract

The use of different hydrocolloids in the partial substitution of margarine by vegetable oils, are evaluated to achieve products with characteristics similar to the traditional product. The objective of this study was to evaluate the effect of the addition of different concentrations of gelatin (0%, 0.75%, 1.25%, and 2.0%) in pound cake formulation reduced in margarine and partially replaced with canola oil. It was determined specific gravity (SG), apparent viscosity, modules of viscoelasticity (G' and G'') and number and size of air bubbles in the batter. In the pound cake was determined texture (TPA and sensory evaluation), crumb structure and moisture. By increasing the concentration of gelatin, it was observed a proportional increase of SG, apparent viscosity and elastic and viscous modules, predominating the viscous module with respect to elastic module, and a decrease in the number and size of air bubbles in the batter. In the pound cake, there was a proportional decrease in the volume and uniformity of the crumb, with respect to the size and number of cavities formed, however, sensorially, the most accepted formulation was the addition of 1.25% of gelatin because it perceives a more consistent and moist crumb, therefore, adding gelatin can be an alternative to improve the acceptability of a pound cake reduced in margarine, which it is also less expensive.

Keywords: gelatin, margarine reduction, pound cake, batter, rheology, bubble count, texture profile, crumb structure.

Resumen

El uso de diferentes hidrocoloides en el área de panificación, como coadyuvantes en la sustitución de margarina por aceites vegetales, son evaluados para lograr productos con características similares al producto tradicional. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de diferentes concentraciones de grenetina (0%, 0.75%, 1.25%, y 2.0%) en una formulación para panqué reducida en margarina y parcialmente reemplazada con aceite de canola. Se determinó gravedad específica (SG), viscosidad aparente, módulos de viscoelasticidad (G' y G'') y número y tamaño de burbujas de aire en el batido. Además se evaluaron la textura (TPA y evaluación sensorial), estructura de la miga y humedad del panqué. Al aumentar la concentración de grenetina, se observó un aumento proporcional de la SG, viscosidad aparente y módulos elástico y viscoso, predominando el módulo viscoso respecto al elástico, y una disminución en el número y tamaño de burbujas de aire en el batido. En el panqué, hubo una disminución proporcional del volumen y uniformidad de la miga, respecto al tamaño y número de cavidades formadas, sin embargo, sensorialmente, la formulación más aceptada fue la adicionada de 1.25% de grenetina debido a que se percibe una miga más consistente y húmeda, por tanto, la adición de grenetina puede ser una alternativa para mejorar la aceptabilidad de un panqué reducido en margarina, que además es de menor costo.

Palabras clave: grenetina, reducción margarina, reología, evaluación sensorial, batido panqué, perfil textura, estructura miga.

* Corresponding author. E-mail: cpereza@uaemex.mx

1 Introduction

Traditional pound cake contains high portions of fat, sugar, egg, and flour; each ingredient exhibits an important role in defining the structural, rheological and textural properties of the final cake (Wilderjans *et al.*, 2013; Hesso *et al.*, 2015). In cake making, shortening performs basic functions such as entrapment of air, a coating of starch and protein molecules, and emulsification of large amount of liquid that contributes to greater crumb moisture and, concomitantly, to the softness of the cake product (Román *et al.*, 2015). Several fat substitutes in baking have been evaluated, such as vegetable oils, modified starches, hydrocolloids as gums in combination with emulsifiers, oleogels and others (Ronda *et al.*, 2011; Patel *et al.*, 2014; Hussien *et al.*, 2016; Doan *et al.*, 2018).

On 17 June 2015, the US Food and Drug Administration (FDA) determined that partially hydrogenated oils were no longer “GRAS” (generally recognized as safe) and needed to be removed from food products by June 2018. Moreover, it has also been suggested that the nutritional profile of our diet can be improved if saturated fat is replaced with unsaturated fat (Mensink *et al.*, 2016). In response to these new regulations and changing consumer preferences, finding a healthier alternative to technically reduce the saturated and/or trans-fat content has drawn the attention of food scientists and food producers in recent years. If the saturated lipid fraction is simply replaced with an unsaturated fat, for example a vegetable oil, which also provides essential fatty acids, the final structure of the products cannot match the quality characteristics expected by consumers (functional and sensorial properties) (Mensink *et al.*, 2016; Doan *et al.*, 2018).

Hydrocolloids are a heterogeneous group of long chain polymers (polysaccharides and proteins) characterised by their property of forming viscous dispersions and/or gels when dispersed in water. Presence of a large number of hydroxyl (-OH) groups markedly increases their affinity for binding water molecules rendering them hydrophilic compounds (Dipjyoti *et al.*, 2010). The addition of gums (hydrocolloids) and emulsifiers in baking, together with vegetable oil, considerably improve the properties of the final product. Carboxymethyl Cellulose (CMC) and Hidroxipropilmetil Cellulose (HPMC) are used to compensate for certain attributes

of solid fat such as moisture retention, volume, final texture, and are commonly used synergistically with other gums and emulsifiers for enhance these attributes (Kumari *et al.*, 2011, Sowmya *et al.*, 2009).

The mainly functional properties of hydrocolloids in foods are as thickening agents, and gelling agents (Li *et al.*, 2016). Hydrocolloids modify the rheology of the system, which includes two basic properties: flow behavior (viscosity) and mechanical properties as a solid (texture), which invariably changes the sensory properties of the final product. Gelatin can be considered one of the most versatile hydrocolloids in the food industry because its taste-free and odourless, it has no allergenic potential and it can be used as a gelling, thickening, water-binding, emulsifying, foaming and film-forming agent, being able to create a fat-like matrix in emulsions where exhibit shear-thinning properties and creaminess similar to fat but free of calories (Damodaran *et al.*, 2007). Besides its use is easier and its cost is lower respect to other hydrocolloids. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the effect of different concentrations of gelatin as hydrocolloid, with attributes similar to the gums in a formulation for pound cake reduced in margarine with canola oil (rich in omega 6), determining rheological properties and microstructure in the batter, relating it with the properties of texture of the pound cake.

2 Materials and methods

2.1 Ingredients

Wheat flour (San Antonio, Tres Estrellas®, México) with protein content, reported by supplier of 10.88%; gelatin 260°B (Gelita®, Gelita México S. de R.L. de C.V., México), baking powder (Royal®, Kraft Foods de México, S. de R.L. de C.V., México), margarine (Iberia®, Unilever de México, S. de R. L. de C.V., México), oil canola (Canoil®, AGYDSA Aceites, Grasas y Derivados, S.A. de C.V., México), purified water (Bonafont®, Bonafont S. A. de C.V., México). The rest of the ingredients (whole eggs and sugar) were obtained from local suppliers.

2.2 Pound cake preparation

The formulation was based on the method of Kumari *et al.* (2011) with some modifications. Pound cake batter reduced 70% in margarine and partially replaced

with canola oil (50% of total fat), was prepared as follows: 45 g of margarine, 75 g of canola oil, and 150 g of sugar were mixed for 2 min at low speed (306 rpm) using a Hamilton Beach mixer (63232, Hamilton Beach Brands, USA), 2 min at medium speed (380 rpm) and a minute at high speed (450 rpm), then, 136 g of fresh whole egg was added and mixed 2 min at low speed and 2 min at medium speed, after thorough sifting, 250 g of wheat flour and 1.5 g of baking powder were added and mixed 1 min at low speed; finally, 1.88 g (0.75%), 3.13 g (1.25%) and 5 g (2.0%) of gelatin dissolved previously in 56 mL water was added and mixing 2 min at low speed. A formulation without gelatin was used as a control. Pound cake batter (600 g) was poured in cake pans ($21.0 \times 11.0 \times 6.0$ cm) and baked at 180 °C for 35 min in a preheated oven Rational Self- CookingCenter® whiteefficiency® baking Oven (Rational, Germany).

2.3 Cake batter characteristics

2.3.1 Specific gravity

The specific gravity (SG) is determined immediately after preparing the batter. Specific gravity was calculated by dividing the weight of a standard measure of the batter by the weight of an equal volume of water at 20 °C (Method 72-10-AACC, 2007).

2.3.2 Apparent viscosity

The apparent viscosity (η_a) of cake batter was determined using a rheometer (HAAKE MARS III, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA) with a parallel plate-plate of 60 mm and a constant gap height of 1.0 mm at 20 °C. For each test, the sample was sheared at a programmed rate, which linearly increased from 0 to 100 s⁻¹ in 5 min; apparent viscosity (η_a) and shear rate ($\dot{\gamma}$) plots were obtained. Analysis was monitored with RheoWin 4 Job Manager software and the rheological parameters were calculated using the Rheowin 4 Data Manager software (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA) by performing a regression analysis to adjust the graphs to a power-law model (Eq 1)

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

where σ is the shear stress (Pa) and $\dot{\gamma}$ is the shear rate (s⁻¹), K is consistency index (Pa·s) and n is the flow behavior index for Power law model (Barnes, 2000).

2.3.3 Viscoelasticity

Dynamic frequency sweeps (0.1–10 Hz) were performed under a constant strain ($\gamma = 1\%$), in order to determine the linear viscoelastic region (LVR) of the cake batter samples. From the LVR a constant frequency of 1 Hz was chosen to perform a strain amplitude sweep ($\gamma = 0.01 - 100\%$), to determine the storage modulus (G'), loss modulus (G'') and loss tangent ($\tan \delta$), (Eq 2)

$$\tan \delta = G''/G' \quad (2)$$

The coefficients G' , G'' and $\tan \delta$, represent the elastic and viscous moduli and the loss tangent at a frequency of 1 Hz, with the oscillation frequency.

2.3.4 Number and size of bubble

Cake batter microstructure was evaluated using a DM750 microscope (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany) equipped with an EC3 video camera, and images were captured using LAS-EZ software (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany) based on the methodology proposed by Allais *et al.* (2006). The sample was covered by another microscope slide and the two slides were pressed to obtain a layer of batter of a constant thickness, approximately 20 μ m of thickness, due to the image analyzer does not consider the depth of field, it is particularly important to standardize the height of the sample. The batter samples were examined at 40 times magnification. The images obtained by microscopy were saved in bpi format and were processed optimizing contrast with Adobe Photoshop, then were analyzed using ImageJ 1.46r (Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA). Distribution of the cell size and area were reported.

2.4 Physical characteristics of pound cake

2.4.1 Volume

The volume was determined by the seed displacement (method 10-05 AACC, 2010), the volume accuracy was between 9 and 14 cm³.

2.4.2 Texture Profile Analysis

The texture of the pound cake was measured using a texture analyzer (Stable Micro System TA-XT plus Texturolab, Godalming Surrey UK), according to the AACC (2000) (74–09.01) method. The samples (25 mm thick) were sliced using a wooden box with

grooves at 2.5 cm. The double compression test was performed with a 50 mm diameter aluminum plate (P/50) and a 5 s interval between the 2 compression cycles, under the following working conditions: speed of 1.0 mm/s for the pre-test; speed of 1.7 mm/s for the test; speed of 10.0 mm/s for the post-test; 40% compression and load cell 5 kg. The firmness was expressed as (N).

2.4.3 Cake crumb structure

Pound cakes were cut in slices (25 mm thickness) and were scanned (HP Scan-HPLJM1530 MFP Series Scan Idaho, USA) at 300 dpi of resolution. Images were taken from the 100% of the pound crumb eliminating the crust, were saved in JPEG format and were converted to grey scale (8 bit). Otsu algorithm tool was used for the segmentation using Image J software (Image Processing Analysis in Java. Wayne Rasband, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA) (Baixauli et al., 2008; Rodríguez-García et al., 2014). Distribution of the cell size and area were reported.

2.5 Sensorial analysis

A ranking discrimination test was carried out with 58 untrained judges, 23 men and 35 women between 15 and 65 years of age, to compare the attribute of firmness among the four formulations studied (Stone et al., 2012). In addition, the global percentage of liking for each formulation was determined. The results were interpreted using an analysis of variance using the Statgraphics X64 program.

2.6 Statistical analysis

Data were analyzed using a one-way analysis of variance (ANOVA) and a Tukey's test for a statistical significance $P \leq 0.05$, using the Statgraphics X64. All experiments were done in triplicate.

3 Results and discussion

3.1 Specific gravity

Specific gravity (SG) is related to the number of air bubbles incorporated into a cake batter. Higher SG values indicate less incorporation of air bubbles, this is usually correlated to the texture and final volume

of the pound cake. The values of specific gravity are shown in Table 1, where the control cake batter has an SG of 0.92 g/cm³, whereas batters containing gelatin was of 0.95, 0.96 and 1.00 g/cm³ at 0.75, 1.25 and 2% of gelatin, respectively. The addition of hydrocolloids increases the density of the batter, which can obstruct air incorporation during mixing (Gómez et al., 2007). Possibly the proportional increase of specific gravity when increasing the concentration of gelatin, is due that the gelatin, like other proteins, is highly hydrophilic and binds water during the mechanical agitation, making the water less available in the emulsion, the batter then it becomes dense, decreasing in this way, the ability to form air bubbles (Matos et al., 2014; Ronda et al., 2011). The behavior of the SG in cake batter reported by others authors is variable, depending mainly on the type of gum, the formulation and its interaction with other components (Turabi et al., 2008).

Low specific gravity is desired in cake batter since it indicates that more air is incorporated into the batter. Control batter has the lower SG. The capacity of air retention of this sample is due to the stability that gives the protein of the egg white and yolk for its functional properties like emulsifying activity or foam stability. Egg albumen increased the emulsifying activity (Marco & Rosell, 2008; Park et al., 2012). Moreover, the mixture of margarine and canola oil in the proportion used in this formulation: 30% shortening-50% canola oil, (reduced 20% of total fat in the traditional formula), shows an effect similar to the addition of an emulsifier; in this case, reducing the density, that is to say, facilitated air entrapment during batter mixing (Kumari et al., 2011).

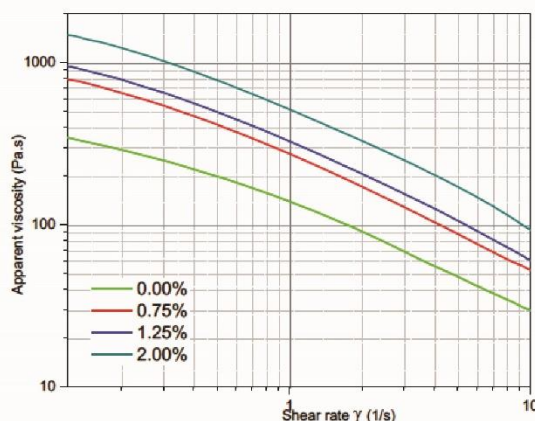


Fig. 1. Apparent viscosity of cake batters added with gelatin.

Table 1. Specific Gravity and rheology of the batter added with gelatin.

Gelatin concentration (g/100g)	Specific gravity	Power-law fluid model		
		K (Pa s ^{<i>n</i>})	n	r^2
0	0.919±0.02 ^a	110.13±10.97 ^a	0.511±0.016 ^a	0.965
0.75	0.945±0.01 ^a	248.31±30.17 ^b	0.448±0.014 ^a	0.982
1.25	0.962±0.02 ^a	312.82±32.29 ^b	0.405±0.061 ^a	0.984
2	1.007±0.02 ^b	320.99±40.72 ^b	0.419±0.103 ^a	0.998

Average values ± standard deviation of three replicates. ^avalues followed by different letter in the same column are significantly different ($P < 0.05$).

3.2 Apparent viscosity

All the formulations of the cake batters with or without gelatin showed shear thinning (pseudoplastic) behavior, which means that apparent viscosity decreases as the shear rate increases (Figure 1). Shear thinning behavior can be explained by the alignment of microstructure with the flow direction as shear rate increases, thus apparent viscosity decreases (Song, Kim, & Chang, 2006). The shear stress (σ) versus shear rate ($\dot{\gamma}$) data obtained from rheometer for cake batters at 20 °C were fitted well to Power Law model (Eq. (1)) with a coefficient of determination values ($r^2 > 0.965$ –0.998) (Table 1), indicating the suitability of the Power law model to describe the flow properties of the cake batters.

Table 1 shows the flow behavior index (n) of batters ranged from 0.405 to 0.511, were less than 1, indicating the pseudoplastic (shear thinning) nature of the batters. No significant differences ($p < 0.05$) were observed in the flow behavior index at different concentrations of gelatin. The values for consistency coefficient (K) (Table 1) increasing significantly ($P < 0.05$) when the gelatin concentration on cake batters was increased, this reduced the ability of batter to flow. The higher viscosity observed at the concentration of 2% gelatin respect to the control is due to the high capacity of hydrocolloid to retain water, like other proteins, hindering the mobility of other components. Dogan *et al.* (2005) and Ronda *et al.* (2011), found that the addition of some proteins increases the water binding capacity and can reduce the amount of free water available to facilitate the movement of particles in batters and consequently gives higher apparent viscosity values respect to the control. Other authors have found an increase in apparent viscosity in batters added with other type of proteins as gluten (Wilderjans *et al.*, 2008) and

when soy protein is added (Dogan, *et al.*, 2005). In the substitution of fat by other no proteic hydrocolloids such as inulin (Rodriguez-Garcia *et al.*, 2012) and β -glucan and amylopectin (Lee *et al.*, 2005), an opposite effect was observed.

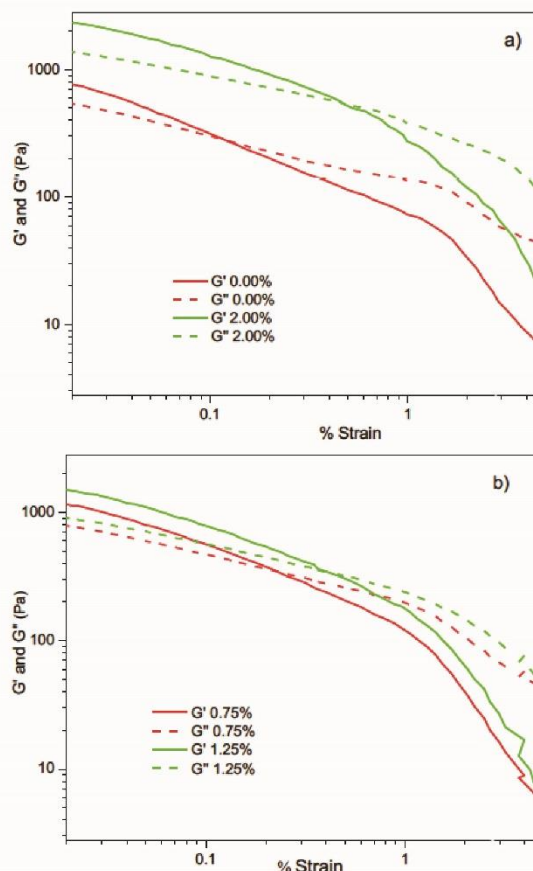


Fig. 2. Viscoelasticity of cake batters added with gelatin.

Table 2. Number and size of bubbles of air incorporated in cake batter.

Gelatin addition (g/100g)	0%	0.75%	1.25%	2%
Num bubbles	151±37 ^a	97±25 ^b	93±39 ^b	81±12 ^c
Average area (μm^2)	215±48 ^a	84±23 ^b	43±18 ^c	34±8 ^c
Max area (μm^2)	2230	460	302	221

3.3 Viscoelasticity

Viscoelastic behavior of the pound cake batters at constant frequency (1 Hz) also was evaluated (Fig. 2a and 2b). These results show that increasing the concentration of gelatin, increase the values of both G' as G'' in the strain amplitude sweep evaluated ($\gamma = 0.01 - 100\%$). Initially, the elastic modulus predominates with respect to the viscous in all the formulations, however, at values greater than 0.1% of strain, a crossing of the lines is observed, changing the behavior to viscous. The point of intersection of the elastic module to viscous module occurs at approximately 0.12% of strain when not added gelatin, while the sample added from 2% of gelatin crosses at approximately 0.5% of strain. This tendency indicate that the proteic hydrocolloid addition promotes a behavior more solid like than liquid like of these cake batters; that is, it improves certain stability of the emulsion (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017).

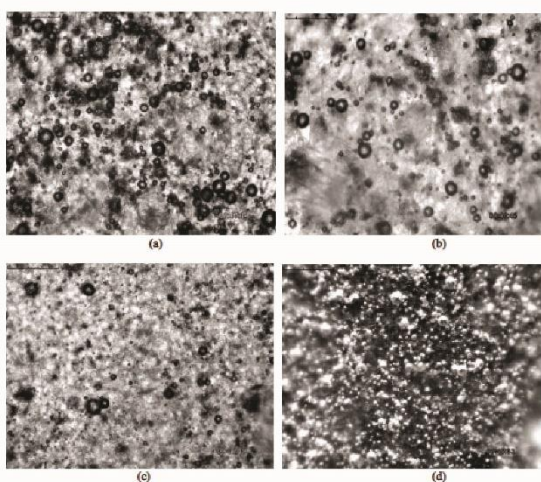


Fig. 3. Micrographs of the pound cake batter added with gelatin. (a) 0%, (b) 0.75%, (c) 1.25% and (d) 2.0% gelatin added at 40X of magnification.

However, according to the value obtained from the $\tan \delta > 1$, the behavior in all the samples is predominantly viscous (Steffe, 1996), that is to say, corresponds a weak gel, by increasing the deformation effort; this may be determined by a combination of weak inter-molecular forces like hydrogen bonds, electrostatic forces, Van der Waals forces, and hydrophobic interactions of gelatin gel (Banerjee & Bhattacharya, 2012), and by the emulsion of air in liquid, in a formulation reduced in solid fat (Kalinga & Mishra, 2009).

3.4 Number and size of bubble

A progressive decrease in the number and size of air bubbles were found as the gelatin concentration increased as shows in the micrographs in Figure 3. The number of bubbles is reduced almost 50% by adding of gelatin as shown in Table 2. The control has the largest number of bubbles (151) and more heterogeneous size ($0.5 - 2230 \mu\text{m}^2$) (Figure 4a), while the added 2% gelatin, shows the lowest number of bubbles (81) and of smaller size, in a range of area of 0.5 a $220 \mu\text{m}^2$ (Figure 4d). The number, size and distribution of the air bubbles in the cake batter, will determine the texture of the cake (Sahi & Alava, 2003), if the batter is sufficiently stable to the baking temperature. These values are in accordance to the specific gravity obtained in the different batters, where the lowest value corresponds to the sample which is not added from gelatin, this is, incorporates the largest amount of air bubbles. The histograms of the different concentrations (Figure 4) graphically show the distribution of areas of air bubbles from the cake batter and the range of size (area), this lower amount of bubbles incorporated is related to the viscosity of the batter. The increase in viscosity of the samples added of gelatin, limits the formation of bubbles. Some studies reported that higher viscosity would obstruct air incorporation (Gómez *et al.*, 2007).

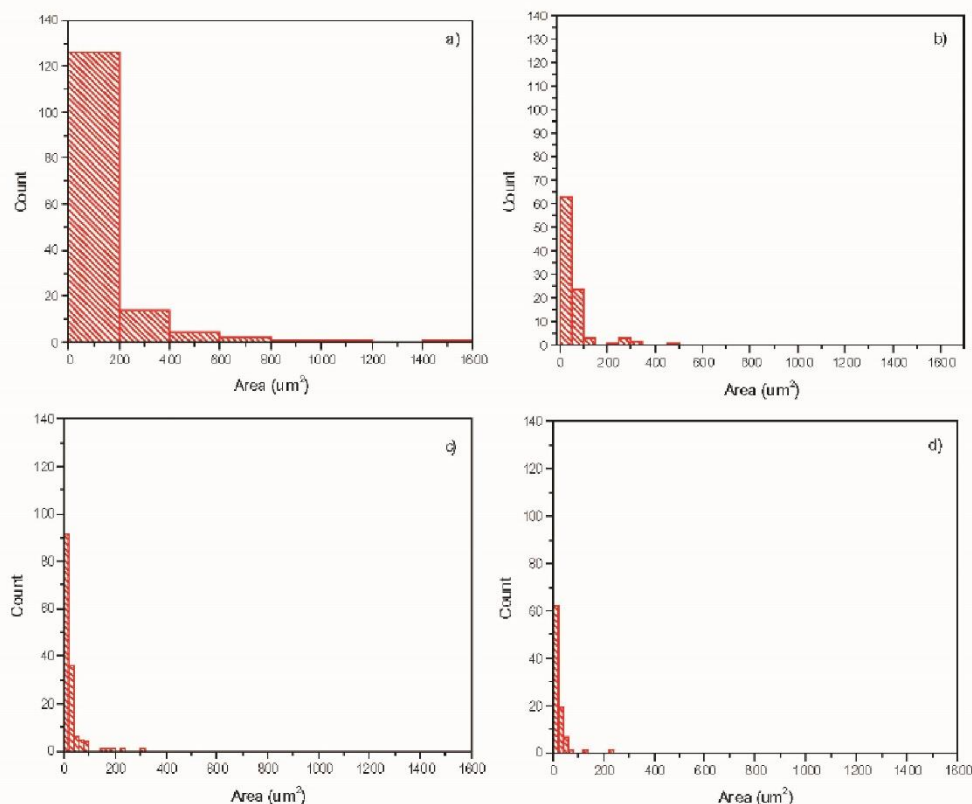


Fig. 4. Histograms of number of bubbles and cell area of cake batters: a) 0%, b) 0.75%, c) 1.25%, d) 2.0% of gelatin.

The affinity of the gelatin by the water and the formation of the gel that forms a three-dimensional network to retain water in the interstices (Dipjyoti *et al.*, 2010), contribute significantly to the increase of viscosity in the batter. Gelatin has the ability to decrease surface tension and stabilize emulsions, in addition to some foaming capacity, so you would expect an increase in the number of bubbles in the batter, however the higher viscosity observed interferes in this process. The size and number of bubbles in a batter for pound cake, is determined also

by the process of stirring and the type and amount of ingredients (Chesterton *et al.*, 2013, Nessrin *et al.*, 2015).

3.5 Volume of pound cake

The volume of different formulations are shown in Table 3, where the volume of the pound cakes added with gelatin (0.75%, 1.25%, and 2%) was significantly ($P < 0.05$) lower than the pound cake not added of gelatin (0%). To increase the concentration of gelatin, the volume was decreasing, as shown in Figure 5.



Fig. 5. Images of volume of pound cakes added with different concentrations of gelatin. From the left to right: 2%, 1.25%, 0.75% and control.

Table 3. Quality and texture of the pound cakes added with gelatin.

Gelatin addition (g/100g)	Volume (cm ³)	Moisture (g/100g) gravity	Texture			
			Firmness (N)	Adhesiveness (N/s)	Cohesiveness	Chewiness
0	1108.6±14.6 ^a	27.1±0.9 ^a	20.1±2.5 ^a	0.045±0.02 ^a	0.530±0.02 ^a	10.62±1.09 ^a
0.75	1070.7±11.3 ^b	26.9±0.6 ^a	22.9±2.9 ^{ab}	0.074±0.03 ^a	0.539±0.02 ^a	12.31±1.64 ^b
1.25	1061.4±11.8 ^b	25.5±1.6 ^a	23.3±4.6 ^{ab}	0.059±0.01 ^a	0.550±0.02 ^a	12.73±2.37 ^b
2	979.3±9.3 ^c	26.5±1.2 ^a	26.4±5.9 ^b	0.100±0.06 ^b	0.536±0.02 ^a	14.01±2.59 ^b

^aValues followed by different letter in the same column are significantly different ($P < 0.05$).

In this case there is a relationship between the increase in specific gravity and volume reduction, since it has incorporated a lower amount of air when the gelatin is added.

Usually the viscosity of the batter is a determining factor in the retention of air during the baking. Batters with very low viscosities cannot hold air bubbles in batter matrix and cakes collapse in the oven, whereas a highly viscous batter can restrict its expansion during baking (Ronda *et al.*, 2011). The viscosity provided by the gelatin does not favor the incorporation of air in the cake batter, and during baking, the gelatin gel melts, and a fraction of little-retained air is released before the structure of the cake is formed, producing a lower volume pound cake. In formulations reduced in margarine, and added with hydroxypropylmethyl cellulose (HPMC), the addition of the gum, supports the cake batter to achieve good air retention during baking, these gums form a complex with starch that confer thermal stability during baking, which is not the case of the gelatin, that by its structure, forms only weak bonds (links by hydrogen bonds) between themselves making her less stable to the temperature (Dipjyoti *et al.*, 2010). Some studies reported that the combination of different hydrocolloids, acts a synergistic effect, improving their properties (Psimouli, *et al.*, 2013; Gómez *et al.*, 2007; Dipjyoti *et al.*, 2010), but others authors have been reported both increase and decrease of volume using certain gums in yellow layer cake, attributing these differences principally to the concentration of used gum (Gómez *et al.*, 2007).

3.6 Moisture content of the pound cake

The moisture content of the pound cake is shown in Table 3, where there was not significant difference ($P < 0.05$) between the added samples of gelatin

and the not added. It is well known the ability of hydrocolloids of increasing moisture retention that, at the same time, depends on their chemical structure and their interactions with the rest of food ingredients. The gums interact with the starch to increase water retention, which does not occur with gelatin. The formation of the gelatin gel is given by initial heating followed by cooling (ionotropic gel) (Glicksman, 1982), therefore the high capacity of linking water of this hydrocolloid is limited since the gel is really formed during the cooling, where another type of interactions has already been carried out between other ingredients. In a study reported by Gómez *et al.* (2007), determined that the cakes containing hydrocolloids always showed lower moisture losses during baking than the control cakes, and shows similar dehydration rate during storage of 3 days.



Fig. 6. Images of slides of pound cake shows cake structure at different concentration of gelatin.

Table 4. Image analysis of the crumb structure of the slice of pound cake.

Parameter	Gelatin addition (g/100g)			
	0	0.75	1.25	2
Number of cell	19.8±5 ^a	61.8±19.4 ^b	112.8±49.8 ^b	78.4±10.6 ^c
Average size cell (mm ²)	2.0±0.5 ^a	3.4±1.5 ^b	4.8±1.4 ^b	8.0±4.7 ^c
Crumb cell area (mm ²)	39.7±12.6 ^a	267.1±85.8 ^b	381.5±188.4 ^c	597.3±315.6 ^c

Average values ± standard deviation of three replicates. ^aValues followed by different letter in the same row are significantly different ($P < 0.05$).

3.7 Texture of the pound cake

The textural characteristics of the pound cakes were determined by texture profile analysis in terms of firmness, cohesiveness adhesiveness and chewiness, and are shown in Table 3. Firmness increased as the level of gelatin increased. Maximum firmness (26.4 N) was noted for pound cake added with 2% gelatin. Increase in firmness was due to less entrapment and loss of the bubble air during baking, that produced a crumb more compact and heavy and it is related also to the volume decrease. Cohesiveness generally indicate the development of internal bonding in a three-dimensional protein network in cakes. There were no significant differences ($P > 0.05$) in cohesiveness of any of the pound cakes (Table 3). This may be due to the predominant protein from the egg and gluten on the concentration of gelatin added (to low).

Chewiness, is a parameter dependant on firmness, observing a similar tendency. There is a significant difference between the samples added of gelatin and the control. Adhesiveness was significantly different ($P < 0.05$) at concentration of 2% this is due to increased competition for water, these tend to join together, giving effect of stickiness, which in pound cake is not desirable, usually this effect is based on the concentration of the hydrocolloid (Dipjyoti *et al.*, 2010; Marco, 2009).

3.8 Cake crumb structure

Structure of the baked cakes added with gelatin is shown in Figure 6. As you can see the structure of the crumb was modified by increasing the concentration of gelatin. A higher concentration of gelatin produce a larger pore size. The histograms of the crumb structure shows an increase in the number of pores larger than 0.5 mm² as the gelatin concentration increases (Figure 7). Exist a marked difference between the smallest and the largest pore size as the gelatin

concentration increases as seen in the crumb pore area (Table 4).

A larger crumb area of the pores observed at concentration of gelatin at 2%, it is related to the weak gelatin gel bonds, which are susceptible to rupture by increasing the temperature, prior to starch gelatinization and protein coagulation of the cake batter, producing coalescence of small air bubbles of air incorporated, forming large holes in the crumb.

A more uniform crumb is observed when the gelatin is not added. The behavior observed when adding gelatin, does not correspond to the behavior of the gums used in bakery. Gums as hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) and carboxymethylcellulose (CMC), form a complex with starch that gives them greater stability to the baking temperature, therefore, are those that best results reported in the final aspect of cake (Dipjyoti *et al.*, 2010).

3.9 Sensorial evaluation

The evaluation was carried out with 58 judges untrained between 15 and 65 years of age, 39.7% men and 60.3% women. The discriminating test of the ranking type to identify the degree of softness of each formulation, is consistent with the result obtained from the texture profile analysis, as shown in Table 5, where the control sample is significantly smoother compared with gelatin added ones. The samples of intermediate concentration "0.75% and 1.25%" showed no significant difference in softness, while the less smooth was 2% of gelatin. It was also carried out a test of preference resulting in the most pleasant formulation being 1.25% of gelatin (34.5%), due to a more humid and less crumbling crumb, followed by the control (24%) which is the softest, concluding that not necessarily a pound cake softer is better or more acceptable.

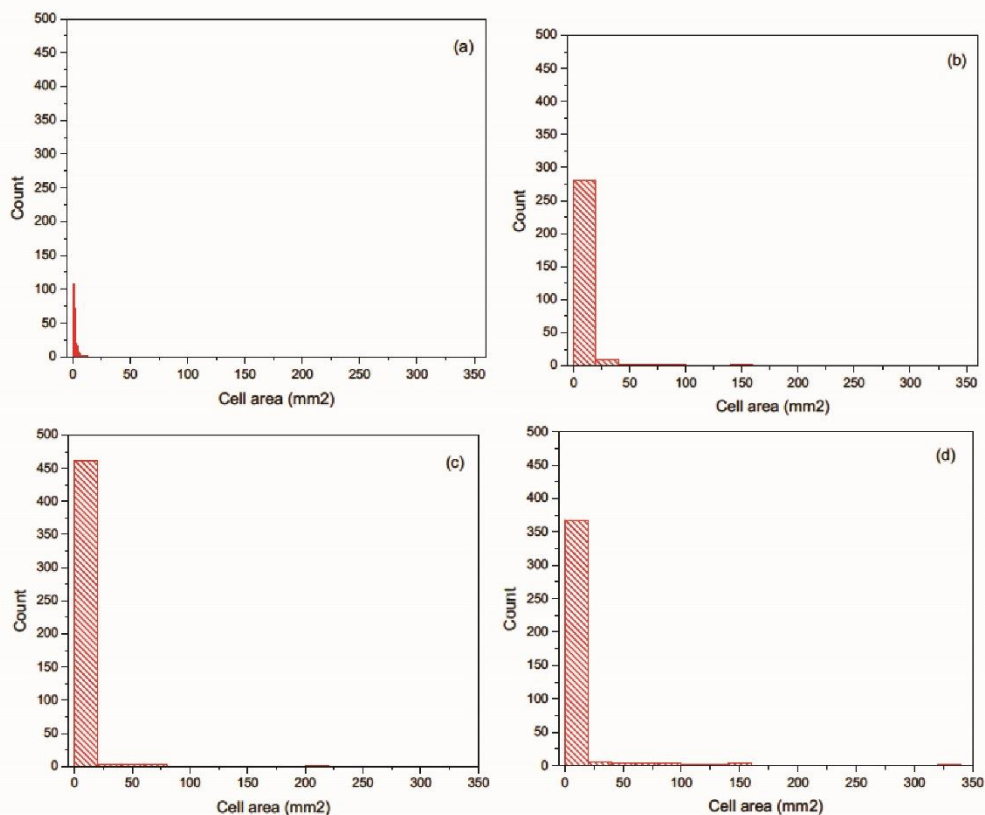


Fig. 7. Histograms of number and size of crumb pores area of pound cake: a) 0%, b) 0.75%, c) 1.25%, d) 2.0% of gelatin

Gelatin is a highly hydrophilic proteic hydrocolloid, which traps water in its three-dimensional structure formed by weak links primarily hydrogen-type bridges, which while the gel does not heat up works as a stabilizer emulsions by having some affinity for both the hydrophilic and hydrophobic ingredients. However, the thermoreversibility of gelatin to melt at temperature of 35 °C in the first minutes of baking, produces the release of air before the formation of the solid structure end of pound cake (gelatinisation

of starch and protein coagulation), affecting the final structure of the crumb and the volume, although retaining some moisture that is only perceptible to the sense of taste.

The physical characteristics of crumb uniformity and volume of the pound cake at a concentration of 1.25% have an intermediate value between the control and the added of 2% of gelatin, and although statistically they are different, the preference for the type of crumb is important.

Table 5. Sensorial analysis using a Ranking test.

Parameter	Gelatin addition (g/100g)			
	0	0.75	1.25	2
Score texture*	3.40±0.94 ^a	2.76±0.80 ^b	2.47±0.86 ^b	1.38±0.81 ^c
Preference (%)**	24	19	34.5	22.4

*Softness degree (1 less soft, 4 softer). ^aValues followed by different letter in the same row are significantly different ($P < 0.05$). **The preference considers the consistency of crumb.

Conclusions

To increase the concentration of gelatin in a formulation for pound cake reduced in margarine and partially replaced by canola oil, there is a proportional increase in specific gravity, apparent viscosity and viscoelastic modules, decreasing the size and number of bubbles formed in the batter. In pound cake, there is a proportional decrease in volume and uniformity of the crumb and increase in the firmness, however, the addition of 1.25% of gelatin was the most accepted sensory formulation due to perceived a crumb more consistent and wet, so, the functionality of the gelatin as hydrocolloid, is limited to the final texture of the pound cake, concluding that it may be an alternative to improve the acceptability of a pound cake reduced in margarine, which is also of lower cost.

Acknowledgements

The authors wish to thank the financial support provided to the author Sánchez-Paz who receives a scholarship through the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) of Mexico.

References

- AACC. (2010). Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. St Paul, USA: American Association of Cereal Chemists.
- Allais, I., Edoura-Gaena, R., Gros, J., Trystram G. (2006). Influence of egg type, pressure and mode of incorporation on density and bubble distribution of a lady finger batter. *Journal of Food Engineering* 74, 198-210. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.03.014
- Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A., Fishman, S. (2008). Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science* 47, 502-509. doi:10.1016/j.jcs.2007.06.015
- Banerjee, S. & Bhattacharya, S. (2012). Food Gels: Gelling Process and New Applications Critical Reviews. *Food Science and Nutrition* 52, 334-346. doi: 10.1080/10408398.2010.500234
- Barnes, H.A. (2000). *A Handbook of Elementary Rheology*. Pp 59, Cambrian Printers, Aberystwyth, Wales.
- Chesterton, A., Pereira de Abreu, D., Moggridge, G., Sadd, G., Wilson, D. (2013). Evolution of cake batter bubble structure and rheology during planetary mixing. *Food and Bioprocess Processing* 3, 192-206.
- Damodaran, S., Parkin, K., & Fennema, O. (2007). *Fennema's Food Chemistry*, Fourth Edition. Taylor & Francis Group, pp 849. Boca Raton, Florida, USA.
- Dipjyoti, S. & Suvendu, B. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology* 47, 587-597. doi: 10.1007/s13197-010-0162-6
- Doan, C.D., Taverniera I., Kiyomi, O.P., Dewettinck, K. (2018). Internal and external factors affecting the crystallization, gelation, and applicability of wax-based oleogels in food industry. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 45, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.023>
- Dogan, S., Sahin, S., & Sumnu, G. (2005). Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken Nuggets. *Journal of Food Engineering* 71, 127-132.
- Glicksman, M. (1982). *Food Hydrocolloids*, CRC Publ. Boca Raton, FL, USA.
- Gómez, M., Ronda, F., Caballero, A., Blanco, C., Rosell, C. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and the shelf life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids* 21, 167-173. doi:10.1016/j.foodhyd.2006.03.012
- Hernández-Rodríguez, L., Lobato-Calleros, C., Ramírez-Santiago, C., Rodríguez-Huezo, M., Meraz, M., (2017). Microstructure and rheology of yogurt added with protein-L. *Plantarum-polysaccharide* coacervate and stevia in substitution of milk-fat and sucrose. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 16, 77-89. <http://www.rmiq.org/iqfvp/Pdfs/Vol.%2016,%20No.%201/Alim2/eAlim2.html>
- Hesso, N., Garnier, C., Loisel, C., Chevallier, S., Bouchet, B., Le-Bail, A. (2015). Formulation effect study on batter and cake microstructure: Correlation with rheology

- and texture. *Food Structure* 5, 31-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foostr/2015.03.002>
- Hussien, H. (2016). Using Vegetable Puree as a Fat Substitute in Cakes. *International Journal of Nutrition and Food Sciences* 5, 284-292. doi: 10.11648/j.ijnfs.20160504.18
- Kalinga, D., & Mishra, V. (2009). Rheological and physical properties of low fat cakes produced by addition of cereal b-glucan concentrates. *Journal of Food Processing and Preservation* 33, 384-400.
- Kumari, R., Jeyarani, T., Sowmya, C., Indrani, D. (2011). Use of vegetable oils, emulsifiers and hydrocolloids on rheological, fatty acid profile and quality characteristics of pound cake. *Journal of Texture Studies* 42, 377-386. doi:10.1111/j.1745-4603.2011.00297.x
- Lee, S., Kim, S., Inglett, G. E. (2005). Effect of shortening replacement with oatrim on the physical and rheological properties of cakes. *Cereal Chemistry* 82, 120-124.
- Li, J., & Nie, S., (2016). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids* 53, 46-61.
- Marco, C., & Rosell, C. (2008). Functional and rheological properties of protein enriched gluten-free composite flours. *Journal of Food Engineering* 88, 94-103.
- Matos, M.E., Sanz, T., & Rosell, C.M. (2014). Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten-free muffins. *Food Hydrocolloids* 35, 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.05.007>
- Mensink, R.P., Sanders, T.A., Baer, D.J., Hayes, K., Howles, P.N., Marangoni, A.G. (2016). The increasing use of interesterified lipids in the food supply and their effects on health parameters. *Advances in Nutrition* 7, 719-729. doi: 10.3945/an.115.009662
- Park, S. J., Ha, Ki-Y., & Shin, M. (2012). Properties and qualities of rice flours and gluten-free cupcakes made with higher-yield rice varieties in Korea. *Food Science Biotechnology* 21, 365-372.
- Patel, A. R., Cludts, N., Sintang, M., Lesaffer, A. Dewettinck, K. (2014). Edible oleogels based on water-soluble food polymers: preparation, characterization and potential application. *Food Function* 5, 2673-3028. doi: 10.1039/c4fo00624k
- Psimouli, V., & Oreopoulou, V. (2013). The Effect of Fat Replacers on Batter and Cake Properties. *Journal of Food Science* 78, C1495-C1502. doi: 10.1111/1750-3841.12235
- Razavi, S., & Karazhiyan, H. (2012). Rheological and Textural Characteristics of Date Paste. *International Journal of Food Properties* 15, 281-291. doi: 10.1080/10942912.2010.483615
- Rodríguez-García, J., Sahi, S., Hernando, I. (2014). Functionality of lipase and emulsifiers in low-fat cakes with inulin. *LWT - Food Science and Technology* 58, 173-182. doi:10.1016/j.lwt.2014.02.012
- Román, L., Santos, I., Martínez, M., Gómez, M. (2015). Effect of extruded wheat flour as a fat replacer on batter characteristics and cake quality. *Journal of Food Science and Technology* 52, 8188-8195. doi: 10.1007/s13197-015-1909-x
- Ronda, F., Oliete, B., Gómez, M., Caballero, P., Valentín, P. (2011). Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate. *Journal of Food Engineering* 102, 272-277. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.09.001
- Sahi, S.S., & Alava, J.M. (2003). Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 1419-1429. doi: 10.1002/jsfa.1557
- Song, K.W., Kim, Y.S., & Chang, G.S. (2006). Rheology of concentrated xanthan gum solutions: Steady shear flow behavior. *Fibers and Polymers* 7, 129-138.
- Sowmya, M., Jeyarani, T., Jyotsna, R., Indrani, D. (2009). Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural quality characteristics and fatty acid profile of cakes. *Food Hydrocolloids* 23, 1827-1836. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VP9...>

- Steffe, J. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Second edition. Freeman Press. Pp 294-298. Michigan, USA.
- Stone, H., Bleibaum, N., Thomas, A. (2012). *Sesory Evaluation Practices*. Fourth edition. Academic Press. Pp 168-225. Oxford U.K.
- Turabi, E., Sumnu, G., Sahin, S. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids* 22, 305-312. doi:10.1016/j.foodhyd.2006.11.016
- Wilderjans, E., Pareyt, B., Goesaert, H., Brijs, K., Delcour, J. (2008). The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten-starch blends. *Food Chemistry* 110, 909-915. doi:10.1016/j.foodchem.2008.02.079
- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., Delcour, J. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science and Technology* 30, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.01.001>

Anexo 2 Artículo científico enviado

Journal of Functional Foods <eesserver@eesmail.elsevier.com>

22 sept.
(hace 4 días)

para mí

*** Automated email sent by the system ***

Dear Dr. Laura Sánchez-Paz,

You have been listed as a Co-Author of the following submission:

Journal: Journal of Functional Foods

Title: Development of a Pound Cake Reduced in Margarine, Added with Canola-Chía Oil and Gelatin

Corresponding Author: Octavio Dublán-García

Co-Authors: Laura A Sánchez-Paz, PhD student; César Pérez-Alonso, PhD.; Mayra Mayra Díaz-Ramírez, PhD.; Juan C Arteaga Arcos, PhD.; Miguel Mayorga-Rojas, PhD.;

To be kept informed of the status of your submission, register or log in (if you already have an Elsevier profile).

Register

here: <https://ees.elsevier.com/jff/default.asp?acw=&pg=preRegistration.asp&user=coauthor&fname=Laura&Iname=Sánchez-Paz&email=lauraspaz@gmail.com>

Or log in: <https://ees.elsevier.com/jff/default.asp?acw=&pg=login.asp&email=lauraspaz@gmail.com>

If you did not co-author this submission, please do not follow the above link but instead contact the Corresponding Author of this submission at octavio_dublan@yahoo.com.mx; odublang@uaemex.mx.

Thank you,

Journal of Functional Foods

----- Mensaje reenviado -----

De: Journal of Functional Foods <eesserver@eesmail.elsevier.com>

Para: "octavio_dublan@yahoo.com.mx" <octavio_dublan@yahoo.com.mx>; "odublang@uaemex.mx" <odublang@uaemex.mx>

Enviado: sábado, 22 de septiembre de 2018 18:01:24 GMT-5

Asunto: A manuscript number has been assigned: **JFF-D-18-02149**

*** Automated email sent by the system ***

Ms. Ref. No.: JFF-D-18-02149

Title: Development of a Pound Cake Reduced in Margarine, Added with Canola-Chía Oil and Gelatin
Journal of Functional Foods

Dear Dr. Octavio Dublán-García,

Your submission "Development of a Pound Cake Reduced in Margarine, Added with Canola-Chía Oil and Gelatin" has been assigned manuscript number JFF-D-18-02149.

To track the status of your paper, please do the following:

1. Go to this URL: <https://ees.elsevier.com/jff/>
2. Enter your login details
3. Click [Author Login]
This takes you to the Author Main Menu.
4. Click [Submissions Being Processed]

Thank you for submitting your work to Journal of Functional Foods.

Kind regards,

Journal of Functional Foods

Please note that the editorial process varies considerably from journal to journal. To view a sample editorial process, please click here:

http://help.elsevier.com/app/answers/detail/p/7923/a_id/160

For further assistance, please visit our customer support site at <http://help.elsevier.com/app/answers/list/p/7923>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EES via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.

Development of a Pound Cake Reduced in Margarine, Added with Canola-Chía Oil and Gelatin

Laura A. Sánchez-Paz¹, César Pérez-Alonso¹, Mayra Díaz-Ramírez², Juan Carlos Arteaga-Arcos³, Miguel Mayorga-Rojas³, Octavio Dublán-García^{1*}

¹ *Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Colón esq. Paseo Tollocan s/n, Col. Residencial Colón, Toluca, Estado de México, 50120, México.*

² *Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma. Av. de las Garzas No. 10, Col. El Panteón Lerma de Villada, Municipio de Lerma, Estado de México, C.P. 52005*

³ *Laboratorio de Micromecánica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, Estado de México.*

* Corresponding author: E-mail: octavio_dublan@yahoo.com.mx

Corresponding Author's Address:

Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México. Paseo Colón esq Paseo Tollocan S/N Col. Residencial Colón, CP 50120.

ABSTRACT

The effect of margarine reduction was evaluated, partially substituting it for a mixture of canola-chia vegetable oils and 1% gelatin with regard to viscoelastic properties during heating, specific gravity of cake batter, volume, color, firmness, fatty acid profile and sensory. The specific gravity increases when oil and gelatin increase. The flow consistency index, storage and loss modulus decrease as the percentage of oils increases. The addition of gelatin, increases both modulus with regard to the control, it does not interfere in gelatinization temperatures and protein coagulation during baking. The addition of gelatin diminishes the volume of the pound cake and increases the firmness. The color of the control pound cake is lighter than the formulations, the crumb is more uniform when 70% of margarine is reduced. The most-accepted pound cake was the 70% margarine-reduced and 1% gelatin-added, achieving a reduction of 70% of saturated fat and an increase of omegas 6 and 3 without addition of gums or emulsifiers.

Keywords: pound cake; margarine reduction; canola-chia oil; omega 3; gelatin; rheological properties

1. INTRODUCTION

Fats and oils are important raw materials and functional ingredients in many processed foods, among them baking goods. A traditional pound cake contains main ingredients such as flour, fat, sugar and egg in the same proportions. Each ingredient has a specific function which contributes to the texture and characteristics of the product. In this manner, the process of gelatinization of starches and denaturalization of proteins convert the cake batter emulsion into a soft and porous solid after baking (Wilderjans *et al.*, 2010; Wilderjans *et al.*, 2013; Hesso *et al.*, 2015). The fat (shortening) has the function of retaining air. Physically, it interferes with gluten continuity and emulsifies the liquid in the formulation, contributing to the structure of a moist, soft and uniform crumb (Román *et al.*, 2015). Also, it is known that fats and emulsifiers delay the gelatinization process, thereby delaying the transport of water within the starch granule due to the formation of a complex between the lipid and amylose during baking (Sakiyan *et al.*, 2004). Thus, a reduction or increment in the proportion of fat in the formulation can have adverse effects over texture, volume and other characteristics of a pound cake (Sowmya *et al.*, 2009).

The hydrogenated fats (shortenings) employed in baking, including the margarines, are characterized by high levels of trans fats, of which adverse effects have been demonstrated (Mensink *et al.*, 2016, Ognean *et al.*, 2006). With regard to margarines, in order to minimize these fats, the proportion of saturated fats has increased in order to comply with regulations without losing its qualities, which continues to be an inconvenience in processed foods (Badui, 2012). At the same time, consumer preferences in choosing healthier foods have led researchers to evaluate different alternatives in order to replace these fats (Mensink *et al.*, 2016, Ashok, *et al.*, 2015). It has been observed that, if the saturated fraction of lipids is substituted by an unsaturated fat, such as vegetable oil, which provides essential fatty acids, the expected quality characteristics are not obtained (Mensink *et al.*, 2016; Doan *et al.*, 2018).

Gums, hydrolyzed proteins and modified starches are ingredients employed in baking, which function as fat substitutes due to their moisture-retention capacity, which provides softness to the crumb and greater volume (Dipjyoti *et al.*, 2010). Gelatin is a proteic hydrocolloid seldom used in baking despite its functional qualities with regard to moisture retention, gel formation and lack of calories (Damodaran *et al.*, 2007; Badui 2013). The addition of gums and emulsifiers considerably improve the properties of a hydrogenated fat-reduced and vegetable oil-added pound cake, also improving the balance of unsaturated fatty acids ((Kumari *et al.*, 2011, Sowmya *et al.*, 2009). Other

fat substitutes have been studied, such as those that are carbohydrate-based (gums and modified starches) (Eduardo *et al.*, 2014, Baixauli, *et al.*, 2008, Kalinga *et al.*, 2009), lipid-based (emulsifiers and oils) (Sakiyan *et al.*, 2004), protein-based (concentrates and microparticulates) and their combinations (Matos M., Sanz T., & Rosell C., 2013, Psimouli *et al.*, 2013, Turabi *et al.*, 2008).

The development of fat-reduced formulations in products of traditional consumption such as cakes, including pound cakes, is an important challenge, given the relevant role of fat in the attributes of the product; however, the functional characteristics are not the only aspect which determines consumer acceptance. It is now known that a diet high in saturated fats is associated with an increase in cholesterol, which increases the risk of cardiovascular issues (Nicolosi *et al.*, 1990). The effect of “good” fats over health forces the consumers to modify their consumption patterns. Nutrition in the western hemisphere has been characterized by high intake of omega-6 linoleic acid and a low consumption of omega-3 linolenic acid, mainly due to the vegetable origin of the oils that are produced and the low consumption of fatty fish. In this way, the omega-6: omega 3 ratio is far from the FAO/OMS recommendation (2012), which should be 2:1 (linoleic acid - α -linolenic acid). Polyunsaturated fatty acids have a structural role in cell membrane phospholipids and are substrates for the synthesis of different mediators which model multiple processes such as immunity, infections and inflammatory illnesses (Holman, 1998).

Among seeds, chia offers the highest known percentage of α -linolenic acid (between 50-64%) (Jiménez, *et al.*, 2013), for which its addition to a large variety of foods turns them into a functional type. Partial substitutions of wheat flour for chia flour have been carried out (15%), achieving an acceptable omega-6 – omega-3 content (Luna *et al.*, 2013); however, chia oil approximately increases the content of omega-3 threefold with regard to its flour content (Ayeza & Coates, 2011). The objective of this work was to create a pound cake reduced in margarine and added with a mix of canola-chia oil and gelatin as a hydrocolloid, evaluating rheological and physical properties of the cake batter and attributes of the pound cake such as volume, color, firmness, fatty acid profile and sensory acceptance.

2. MATERIALS AND Y METHODS

2.1. Sample preparation

Wheat flour (San Antonio, Tres Estrellas[®], Mexico) with a protein content of 10.88%, as reported by the supplier, 260°B gelatin (Gelita[®], Mexico), baking powder (Royal[®], Kraft Foods of Mexico), margarine (Iberia[®], Unilever Mexico), canola oil (Canoil[®], AGYDSA, Mexico), chia-seed oil

pressed in cold, purified water (Bonafont[®], Mexico), were employed in this study. The rest of the ingredients (whole egg and sugar) were obtained from local suppliers.

Pound cake samples were prepared according to the formula given in Table 1, based on Sánchez-Paz *et al.* method (2018), as follows: *i*) margarine, sugar, and canola-chía oil were mixed for 2 min at low speed (306 rpm) using a Hamilton Beach mixer (63232, Hamilton Beach Brands, Inc., Southern Pines, NC, USA), 2 min at medium speed (380 rpm) and a minute at high speed (450 rpm); *ii*) whole egg was added and mixed for 2 min at low speed and 2 min at medium speed; *iii*) wheat flour and baking powder sifting were mixed 1 min at low speed and, *iv*) gelatin dissolved in cold water and heated to complete dissolve, was added and mixed for 2 min at low speed. The batter (600 g) was placed in pound cake molds (21 x 11 x 6 cm) and baked at 180 °C for 35 minutes in a pre-heated oven (Rational Self-Cooking Center[®] whiteefficiency[®], Germany).

2.2. Specific gravity of the cake batter

Specific gravity (SG) was calculated by dividing the weight of a standard measure of the batter by the weight of an equal volume of water at 20°C (Method 72-10-AACC, 2007).

2.3. Rheological properties of the cake batter

The evolution of viscoelastic properties during baking were monitored for batters by measuring the storage modulus (G') and loss modulus (G'') at constant frequency (1.0 Hz) and amplitude (1%), using a rheometer (HAAKE MARS III, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA) with a parallel plate-plate of 60 mm and a constant gap height of 1.0 mm, within the temperature range of 20–120°C by heating the sample at 5°C/min with a peltier temperature controller. To minimize slip of the samples during the experiments, serrated parallel plates were utilized (Lee *et al.*, 2004).

2.4. Pound cake characteristics

The **volume** was determined by the seed displacement (method 10-05 AACC, 2010).

The **color** of the cake was measured using a Minolta Chromameter (CR_300, Minolta Corporation, Ramsey, NJ). Color was measured in terms of L^* (lightness) values on a scale of 0–100. The analysis was based on the $L^*a^*b^*$ or CIE $L^*a^*b^*$ system for breads that were defined by the CIE (International Commission on Illumination) in 1976 for determining the L^* (lightness), a^* and b^* (chromaticity coordinates) values.

The **firmness** of the pound cake crumb was measured at 24 h after baking using a TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK). For the analysis, pound cake was sliced at 25 mm of thickness and was compressed twice to 40% of the original height using a cylindrical probe of 50 mm in diameter under the following working conditions: speed of 1.0 mm/s for the pre-test; speed of 1.7 mm/s for the test; speed of 10.0 mm/s for the post-test, according to method 74-09.01 (AACC 2010). The firmness was expressed as (N).

2.5. Sensorial analysis

A ranking discrimination test was carried out with 58 untrained judges, 28 men and 30 women between 15 and 65 years of age, to compare the acceptability among the four formulations studied (Stone *et al.*, 2012). The results were interpreted with an analysis of variance using the Statgraphics X64 program.

2.6. Bromatologic analysis

The moisture (method number 935.29), ash (method number 923.03), protein (micro-Kjeldahl method, number 920.87), total fat (method number 954.02) and total dietary fiber (method number 985.29) contents of the pound cake were determined according to the methods of the Association of Official Analytical Chemists International AOAC (2005).

2.7. Fatty acid profile

The separation of fatty acid methyl esters was done using gas chromatography, in order to determine the amount of saturated and unsaturated fatty acids. The sample was prepared according to method 969.33 and 963.22 (AOAC, 2005).

2.8. Statistical analysis

All experiments were done in triplicate. Data was analyzed using a one-way analysis of variance (ANOVA) and a Tukey's test with a statistical significance $P \leq 0.05$, using the Statgraphics X64.

3. RESULTS AND DISCUSSION:

3.1. Specific gravity (SG)

SG is a parameter which indicates the quantity of air incorporate in the batter and is directly correlated with the viscosity of the batter and volume of the pound cake. In Table 2, it can be observed that the reduction of margarine and addition of oil increases SG with regard to the control. This agrees with that reported by Sowmya *et al.* (2009) and Kumari *et al.* (2011). At the same time,

the addition of gelatin increases SG in the samples added with oil. This is due to the fact that gelatin is a highly-hydrophilic proteic hydrocolloid, which forms a gel when it is dispersed in water. The presence of a large number of hydroxyl groups (-OH) increases the affinity with water molecules, thus increasing the density of the batter and preventing the incorporation of air (Dipjyoti *et al.*, 2010., Sánchez-Paz *et al.*, 2018).

The initial creaming process (margarine-oil-sugar) is an important step in the retention of air within the cake batter, in which the first air-in-fat emulsion is formed. In Figure 1, the behavior of the fats during creaming can be observed. When oil predominates (90-0), fat does not emulsify or incorporate air. When there is a mix of 30% margarine and 50% oils (70-0), a soft, creamy emulsion is formed, which incorporates air. When only margarine is used (control), there is no incorporation of air. In the incorporation of air, the solid fat crystals are adsorbed onto the surface of the air bubbles, with an interaction between the fat phase (crystal)-water and air-water, in such a manner that the two interphases become continuous and the peak of each fat crystal is in direct contact with the air (Brooker, 1993). The sugar contributes to the nucleation effect; this is to say, it favors the formation of air bubbles. In sample 70-0, the proportion of margarine (30%) acts as an emulsifying agent between oil and the water present in the sugar and margarine, which contains short-chain fatty acids (C8 – C18), which favors the formation of the fat-air-water interphase, providing greater stability to the air bubbles formed (Brooker, 1993), manifesting itself in a lower SG of the cake batter with regard to sample 90-0 (70% oil and 10% margarine). With the more efficient fat emulsion, the batter time could be less. The oil by itself has no emulsifying capacity, due to the composition of unsaturated fatty acids of a longer chain (C18 – C20), which gives it a non-polar characteristic, and that only disperses in an aqueous phase, hence producing unstable emulsions and air bubble coalescence (Fernández, 2006).

3.2. Viscoelastic properties during heating

In order to observe the structural changes of the cake batter for pound cake during the baking process, the viscosity modulus (G^*) and elasticity modulus (G') were evaluated with constant values (frequency of 1 Hz, amplitude of 1.0%) in the linear region, following the model of the Potency Law, within the temperature range of 20 to 120° C. A reduction in margarine of 90% diminishes the gain (G') and loss (G'') modulus with regard to the control. As can be seen in Figure 2, the oil reduces the viscosity of the cake batter (Kumari, *et al.*, 2011). These values agree with SG values obtained; in other words, a low viscosity leads to a lower retention of air in the batter.

The added formulations of gelatin (70-1, 90-1) increase the G' and G'' modulus with regard to the non-gelatin-added formula (70-0, 90-0), which can be explained as a function of gelatin gel formation, which while retaining cake batter water, increases viscosity. The balance of solid and liquid fat in the 70-formula has a behavior similar to that of the control.

During the heating from 20 to 100° C, in all the samples the viscosity modulus predominated when compared to the elastic modulus (Figure 3). The overlapping of the curves can be seen; in other words, a change in a liquid to a solid phase occurred at approximately 110° C, which is when the solid structure of the pound cake or crumb has formed. The addition of gelatin or oils does not modify the temperature at which the phase change occurs.

Through the viscoelasticity analysis at different temperatures, it is observed that at the initial temperature of 20° C, the G' and G'' modulus are higher than in samples 70-1 and 90-1 with regard to the control. This is because the gelatin forms a gel. As temperature increases, the viscosity decreases rapidly due to the fusion of the solid fat and the thermoreversible gel. The gelatin gel is stabilized through hydrogen bonds between the hydroxyl groups of the protein chain; they are weak bonds that break easily at a temperature higher than 35° C (Dipjyoti *et al.*, 2010). The 90-0 sample added with 70% of the canola-chia oil mix shows lower G' and G'' values (<50 Pa) until approximately 80° C. No descending curve of the other samples is observed due to the small quantity of margarine added.

In ideal conditions, the gelatinization of the starch occurs between 58 and 64° C and the denaturalization or coagulation of the proteins occurs at approximately 75° C (Wilderjans *et al.*, 2010, Deleu *et al.*, 2017; Damodaran *et al.*, 2007). The graph shows that at between 80 and 100° C, both processes occur. The fat and the sugar are also known to delay gelatinization by delaying the transport of water by the starch granule due to the formation of complexes between the lipid and amylose during baking (Hesso, *et al.*, 2015). The fat also interferes in the formation of the protein network, shortening and weakening the structure, producing a softer crumb. The phase change of the liquid to a solid can be seen at approximately 110° C with an intersection of the G' and G'' curves. An important piece of data is that the viscoelastic behavior occurs within the same range of temperature for all the samples, which means that the addition of oil or gelatin does not interfere in the gelatinization process of starches and coagulation of proteins. Samples 70-1 and 90-1 show the highest G' and G'' values between 80° and 100° C, possibly due to the addition of

the hydrocolloid, which strengthens the protein network which gives the pound cake its structure (Matos *et al.*, 2014).

3.3. Pound cake volume

In table 2, the volume of sample obtained in the different formulations of pound cake is shown. There is a correlation between SG and viscosity with the volume of the samples studies. At a greater specific gravity, less incorporation of air and volume occurs, which are values that coincide with that reported by Pismouli *et al.* (2013). Samples 70-1, 90-0 and 90-1 do not differ significantly ($P < 0.05\%$) in volumen with regard to the control (Figure 4a), except for sample 70-0, which present a higher volume and also corresponds to the characteristic dome of the pound cake. The SG and viscosity of the control and sample 70-0 are similar; however, the difference in volume is due to the stability of the bubbles during the baking process, provided by the mixture of oil with margarine (30% margarine, 50% oils). The margarine, which in itself is a water-in-oil emulsion (W/O), which acts as an emulsifying agent (because of its short-chain fatty acid content) between oil and water. During the baking process, when the air bubbles begin to form and the liquid fat covers the interior of the bubble, forming a uniform coat, facilitating its expansion without breaking, with the following increase in volume. However, in the control, the β polymorphic forms of the saturated fat crystals (38%) incorporate a relatively smaller amount of air than the β' forms (Brooker, 1993; Friberg *et al.*, 2004).

3.4. Color and structure of the crumb

Color is an important characteristic which determines the acceptability of the pound cake. Table 3 shows the L^* a^* and b^* values obtained. The color analysis exhibits a higher luminosity (L^*) of the crumb in the control with regard to the samples added with the canola-chia oil mix. Akesowan (2007) reports that the coloration of the crumb is affected by the ingredients of the formula more than by the Maillard reaction. In other studies, a reduction in the values of all the color parameters evaluated was observed in the cakes with the addition of chia flour (darker crumb) (Luna *et al.* (2013), Silveira, *et al.* (2015). All the samples tended more to the yellow (b^*) than red (a^*), decreasing (b^*) as oil proportion increased; this is to say, it tended to a browner coloration, which is visually more pleasing. In figure 4b, the structure of the crumb of the different formulations is shown. Samples 90-0 and 90-1 produce larger cavities in the structure of the crumb, possibly due to the fact that coalescence is produced in the air bubbles before the formation of the pound cake structure due to the low viscosity of the oil and fusion of the gelatin (Sánchez-Paz *et al.*, 2018).

3.5. Firmness

In table 2, the values of firmness obtained, are shown. The reduction of margarine and addition of oils in the proposed quantities significantly reduced the firmness of the pound cake ($P < 0.05\%$) when compared to the control, probably due to the fact that the mix of solid and liquid fat distributes itself in a more uniform manner amongst other components of the cake batter, interfering with the formation of the gluten and starch network, producing a soft crumb (Brooker, 1993). The greater firmness of the control could be due to the proportion of saturated fats, which prevent the expansion of the air bubbles during baking, and once it cools, again solidify due to the fact that they are not easy to incorporate.

3.6. Sensory analysis

A ranking test was carried out to determine acceptability of the different pound cake formulations, with 58 untrained judges between the ages of 15 and 65 years of age (20 men and 38 women). In Table 3, the results obtained are shown. The most-pleasing sample was 70-1, with an acceptance of 85.3%, for having a soft and consistent crumb, with a more-pleasing taste. A study of different gelatin concentrations in a formulation for a pound cake reduced in fat, concluded that the gelatin provides moisture and consistency to the crumb, which makes it more pleasing to the palate when it is at a concentration less than 2% (Sánchez-Paz, *et al.*, 2018). The formulation that follows in acceptance, with 65 %, is 70-0, for having a softer crumb and pleasing taste; however, it is crumblier. Samples 90-1 and 90-0 are soft, but have a drier crumb, with an oily taste. The fatty acid profile and bromatologic analysis of the most pleasing sample (70-1) and the control, were carried out.

3.7. Fatty acid profile

The fatty acid profile of sample 70-1 (which exhibited better physical and sensory attributes and was compared with the control), was obtained. In table 4, it can be observed that in sample 70-1, a reduction of approximately 70% of the saturated fatty acid content of C8:0 a C14:0 and a reduction of 47% of fatty acids C16:0 y C18:0 occurred, with regard to the control (100% margarine). These values are inferior to those reported by Luna *et al.* (2013) in the pound cake added with chia flour. Oleic acid (C18:1) increases by 46%, since it is the fatty acid that predominates in the canola oil and is also slightly higher than that reported by Luna *et al.* (2013), while the linoleic acid remains constant in both samples. The most relevant contribution is of linolenic acid (C18:3), omega 3,

which increases in 79.5% with regard to the control, that in the Luna *et al.* (2013) study, incremented in only 50%. In this sense, we can say that the pound cake developed has an important contribution of omega 3 and could be considered as a functional food, as it reduces the W6:W3 ration to 1.4:1.

3.8. Proximal analysis

The results obtained from the proximal analysis of sample 70-1 and the control showed some differences in protein, total carbohydrates and fat contents among ($p < 0.05$). The protein, total carbohydrates, moisture and fiber contents increased, although both for moisture and fiber no significant difference was observed (8.43 ± 0.13^a and 9.02 ± 0.1^b g/100g of Control and 70-1 protein content respectively; 46.2 ± 0.8^a and 50.6 ± 0.7^b g/100g of Control and 70-1 total carbohydrates respectively; 16.63 ± 0.5^a and 17.3 ± 0.8^a % of Control and 70-1 moisture respectively; 0.69 ± 0.09^a and 0.73 ± 0.04^a % of Control and 70-1 fiber respectively); the total fat decrease and ashes decreased no significant difference was observed (27.07 ± 0.25^a and 22.59 ± 0.72^b of total fat control and 70-1 respectively) The protein content can be functional advantage, due the grenetin addition, for pound cake production.

4. CONCLUSIONS

SG increases proportionately as canola-chia oil and gelatin quantity increases, showing a direct correlation with the viscosity of the cake batter. The viscoelasticity modulus is less than in the control for the samples added with oil and increase with the addition of gelatin. The addition of canola-chia oil in the suggested quantities, as well as the addition of gelatin, do not affect the phase change temperatures during the baking process. The samples added with oils and gelatin are softer and the color is more intense when compared to the control. The volume is larger and the crumb is more uniform for sample 70-0. Sensorally, the most accepted sample is 70-1, which also has an important incorporation of omega 3. A 70% margarine-reduced pound cake was achieved, added with a 50% of a canola-chia mix and gelatin, with good sensory acceptance, and rich in fatty acids W6 and W3, with a 1.4:1 balance, with clean packaging, and without addition of gums or emulsifiers.

ACKNOWLEDGMENTS

Laura Alejandra Sánchez-Paz is grateful to the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT-Mexico) for a graduate scholarship.

REFERENCES

- AACC. (2010). Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. St Paul, USA: American Association of Cereal Chemists.
- Akesowan, A. (2007). Effect of Konjac flour/soy protein isolate mixture on reduced fat, added water chiffon cakes. *AU Journal of Technology*, 1, 23-27.
- AOAC Fatty Acid in Oils and Fats Preparation of Methyl Ester Boron Trifluoride Method,” 15th Edition, AOAC Official Method 969.33, AOAC International, Washington DC, 1990.
- AOAC Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist International (2005). 18th ed.
- Ashok R. Patel and Koen D. (2015). Comparative evaluation of structured oil systems: Shellac oleogel, HPMC oleogel, and HIPE gel. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 117, 1-10
- Ayerza R., Coates W. (2011). Protein content, oil content, and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispánica L.*). *Industrials Crops and Products*, 34, 1366-1371.
- Badui D. (2013). Química de los Alimentos. 5 ed. Pearson, México
- Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A., Fishman, S. (2008). Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*, 47, 502-509. doi: 10.1016/j.jcs.2007.06.015
- Brooker, B. E. (1993) "The Stabilisation of Air in Cake Batters - The Role of Fat, *Food Structure*: 12: 3, Article 2. Available at: <http://digitalcommons.usu.edu/foodmicrostructure/vol12/iss3/2>
- Damodaran, S., Parkin, K., & Fennema, O. (2007). Fennema's Food Chemistry, Fourth Edition. Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA. pp 849.
- Deleu L., Melis S., Wilderjans E., Haesendonck I., Brijs K., Delcour J., (2017). Protein network formation during pound cake baking: The role of egg yolk and its fractions *Food Hydrocolloids* 63, 226-232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.07.036>
- Dipjyoti, S. & Suvendu, B. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology* 47, 587-597. doi: 10.1007/s13197-010-0162-6

- Doan, C.D., Taverniera I., Kiyomi, O.P., Dewettinck, K. (2018). Internal and external factors affecting the crystallization, gelation, and applicability of wax-based oleogels in food industry. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 42-52.
- Eduardo M., Svanberg U., Ahrné L., (2014). Effect of Hydrocolloids and Emulsifiers on Baking Quality of Composite Cassava-Maize-Wheat Breads, *International Journal of Food Science*, Article ID 479630, 9 pages. <https://doi.org/10.1155/2014/479630>.
- Estudio FAO Alimentación y Nutrición. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. (2012). Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT), Granada, España.
- Fernández A. (2006). Preparación, caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones O/W. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Friberg S., Larsson K., Sjoblom J. (2004). Food Emulsions. Fourth Edition. Marcel Decker N. Y. USA
- Hesso N., Garnier, C., Loisel, C., Chevallier, S., Bouchet, B., Le-Bail, A. (2015). Formulation effect study on batter and cake microstructure: Correlation with rheology and texture. *Food Structure*, 5, 31-41.
- Holman, R.T. (1998). The slow discovery of the importance of omega 3 essential fatty acids in human health. *J. Nutr.*, 128: 427S-433S.
- Jiménez P., Masson L., Quitral V., (2013). Composición Química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega 3. *Rev. Chil. Nutr.* 2, 155-160.
- Kalinga, D., & Mishra, V. (2009). Rheological and physical properties of low-fat cakes produced by addition of cereal b-glucan concentrates. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 384-400.
- Kumari, R., Jeyarani, T., Sowmya, C., Indrani, D. (2011). Use of vegetable oils, emulsifiers and hydrocolloids on rheological, fatty acid profile and quality characteristics of pound cake. *Journal of Texture Studies*, 42, 377–386.
- Lee, S., Carriere, C. and Inglett, G. (2004). Effect of nutrim oat bran and flaxseed on rheological properties of cakes. *Cereal Chem.* 81, 637–642.
- Luna P., Lopes A., Sammáná N., Kil Chang Y. (2013). Evaluation of whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake. *LWT-Food Science and Technology*. 54, 73-79.

- Matos, M.E., Sanz, T., & Rosell, C.M. (2014). Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten-free muffins. *Food Hydrocolloids* 35, 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.05.007>
- Mensink, R.P., Sanders, T.A., Baer, D.J., Hayes, K., Howles, P.N., Marangoni, A.G. (2016). The increasing use of interesterified lipids in the food supply and their effects on health parameters. *Advances in Nutrition*, 7, 719-729.
- Nicolosi R., Stucchi A., Kowala M., Hennessy L., Hegsted D., Schaefer E. (2009). Effect of dietary fat saturation and cholesterol on LDL composition and metabolism. In vivo studies of receptor and nonreceptor-mediated catabolism of LDL in cebus monkeys. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 10,119-128.
- Ognean C., Darie N., Ognean M. (2006). Fat replacers – Review. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2, 433-442
- Psimouli, V., & Oreopoulou, V. (2013). The Effect of Fat Replacers on Batter and Cake Properties. *Journal of Food Science* 78, C1495-C1502. doi: 10.1111/1750-3841.12235
- Román, L., Santos, I., Martínez, M., Gómez, M. (2015). Effect of extruded wheat flour as a fat replacer on batter characteristics and cake quality. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 8188-8195.
- Sánchez-Paz L., Dublán-García O., Díaz-Ramírez M., Arteaga-Arcos J., Domínguez-López A., Pérez-Alonso C. (2018). Effect of added gelatin on rheological and textural properties of a pound cake reduced in margarine. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 3, 777-789.
- Sakiyan O., Sumnu G., Sahin S., Bayram G. (2004). Influence of fat content and emulsifier type on the rheological properties of cake batter. *Eur Food Res Technol*, 219, 635–638 DOI 10.1007/s00217-004-1020-4
- Silveira C., Salas-Mellado M., (2015). Effects of substituting chia (*Salvia hispanica* L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. *LWT - Food Science and Technology* 60, 729-736.
- Sowmya, M.; Jeyarani, T.; Jyotsna, R.; Indrani, D. (2009). Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes. *Food Hydrocolloids*, 23, 1827-1836.
- Stone, H., Bleibaum, N., Thomas, A. (2012). *Sesory Evaluation Practices*. Fourth edition. Academic Press. p 168-225. Oxford U.K.

- Turabi, E., Sumnu, G., Sahin, S. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids* 22, 305-312. doi: 10.1016/j.foodhyd.2006.11.016
- Wilderjans, E., Pareyt, B., Goesaert, H., Brijs, K., Delcour, J. (2008). The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten-starch blends. *Food Chemistry* 110, 909-915. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.02.079
- Wilderjans, E., Luyts A., Goesaert, H., Brijs K., Delcour, J. (2010). A Model Approach to Starch and Protein Functionality in a Pound Cake System. *Food Chemistry*, 120, 44–51.
- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., Delcour, J. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science and Technology*, 30, 6-15.



a) Fat batter MR* 90%



b) Fat batter MR 70%



c) Fat batter control

*MR (margarine reduction)

Figure 1. Creaming process fat with sugar: a) 10% margarine, 70% oil, b) 30% margarine, 50% oil, c) 100% margarine

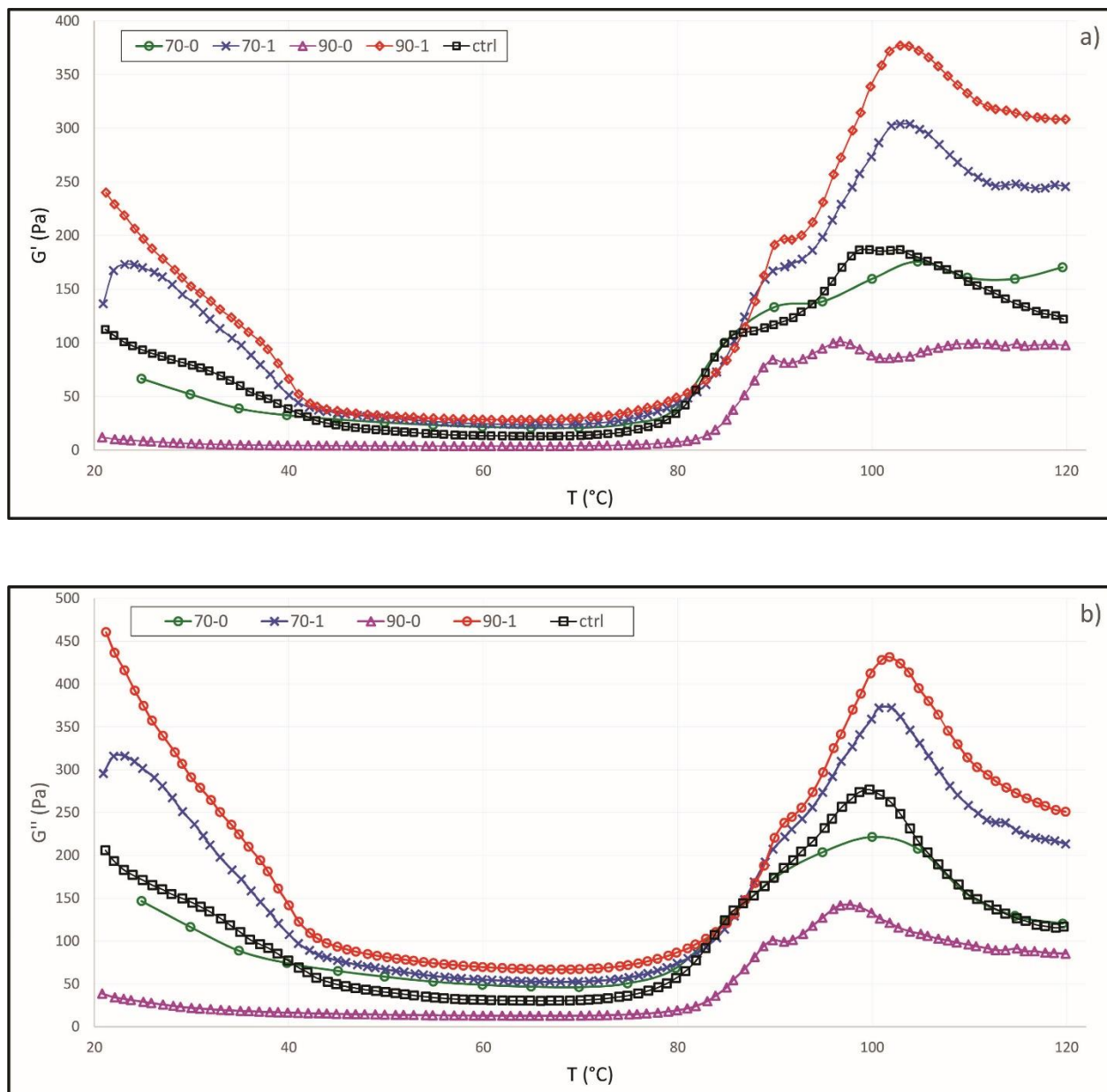


Figure 2. Effect of temperature on different formulation reduced in margarine and added of gelatin on the a) G' and b) G''

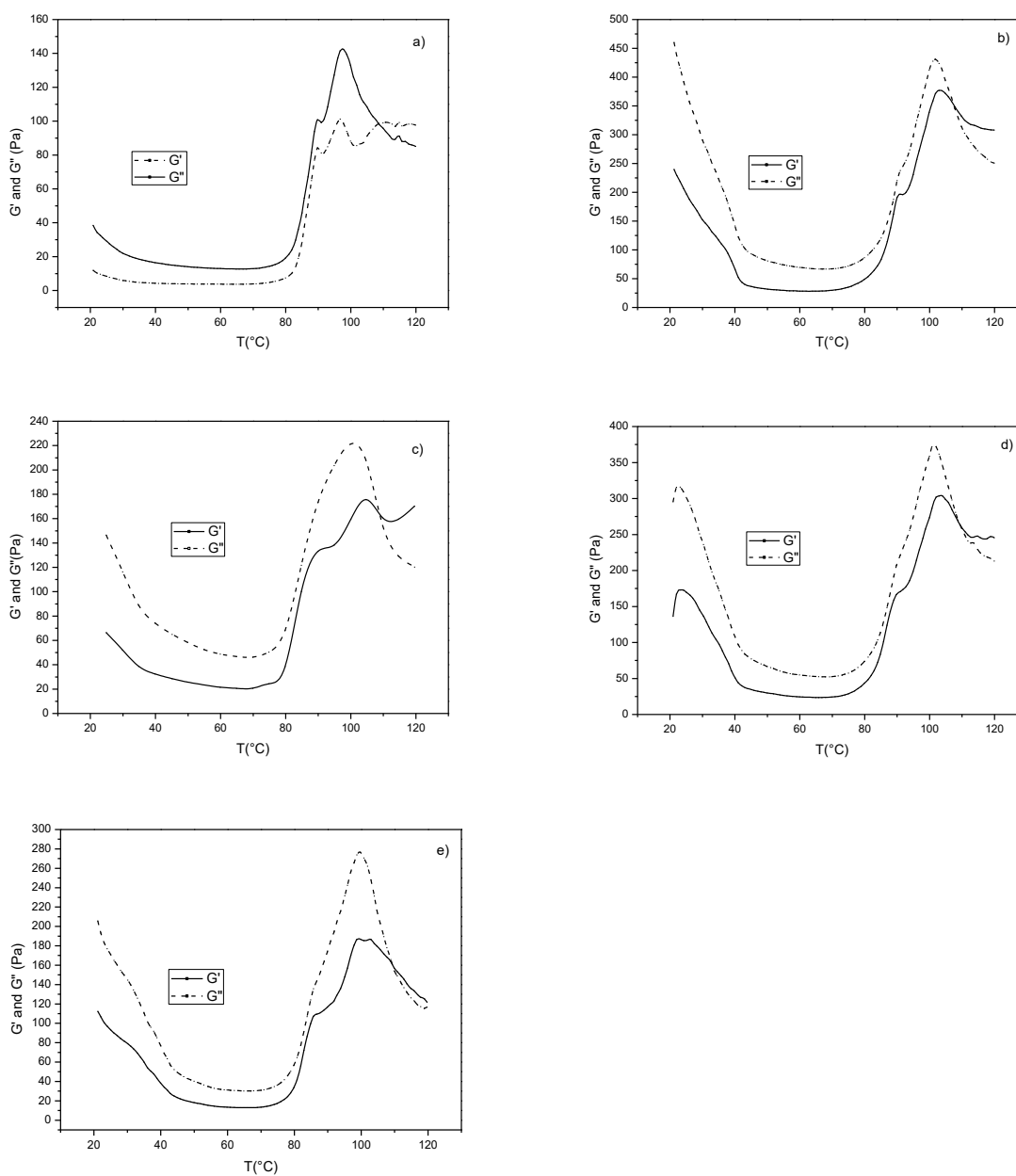


Figure 3. Viscoelastic modules G' y G'' **a)** 90-0 (reduced 90% margarine and not added gelatin), **b)** 90-1 (reduced 90% margarine and added gelatin), **c)** 70-0 (reduced 70% margarine and not added gelatin), **d)** 70-1 (reduced 70% margarine and added gelatin), **e)** control

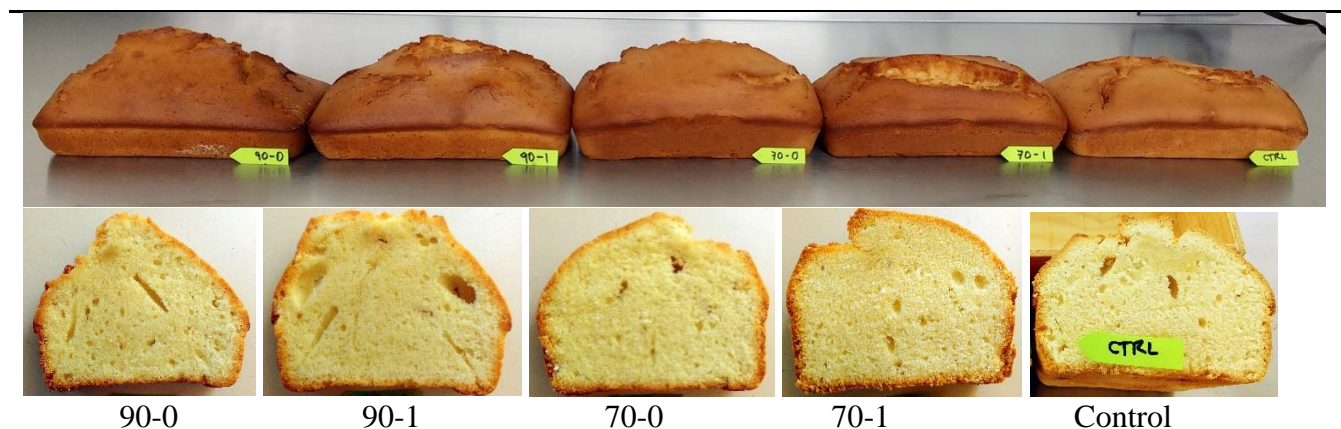


Figure 4. Volume and crumb structure of pound cakes and slides

Figure caption:

Figure 1. Creaming process fat with sugar: a) 10% margarine, 70% oil, b) 30% margarine, 50% oil, c) 100% margarine

Figure 2. Effect of temperature on different formulation reduced in margarine and added of gelatin on the a) G' and b) G''

Figure 3. Viscoelastic modules G' y G'' a) 90-0 (reduced 90% margarine and not added gelatin), b) 90-1 (reduced 90% margarine and added gelatin), c) 70-0 (reduced 70% margarine and not added gelatin), d) 70-1 (reduced 70% margarine and added gelatin), e) control

Figure 4. a) Volume of pound cakes; b) Crumb structure of a pound cake slides

Table 1. Pound cake formulations with different levels of margarine, canola-chia oil (4:1) and gelatin

Formulation (g) Code	Control	Margarine reduction (%)		Gelatin added (%)	
		70	90	1.0	1.0
		70-0	90-0	70-1	90-1
wheat flour	250	250	250	250	250
baking powder	2	2	2	2	2
sugar	150	150	150	150	150
margarine	150	45	15	45	15
egg	136	136	136	136	136
water	56	56	56	56	56
canola oil	-	60	80	60	80
chia oil	-	15	25	15	25
gelatin	-	0	0	2.5	2.5

Table 2. Physical characteristics of cake batter and pound cake

Code	Cake batter	Pound cake	
	Specific Gravity (SG)	Volume (cm ³)	Firmness (N)
Control	0.96±0.003 ^a	1058±42.7 ^a	82.50±7.80 ^d
70-0	0.99±0.01 ^b	1197±9.7 ^b	35.71±3.70 ^a
70-1	1.01±0.02 ^c	1010±73.5 ^a	59.51±6.53 ^c
90-0	1.03±0.01 ^d	1002±39.6 ^a	49.69±5.82 ^b
90-1	1.06±0.01 ^e	1026±77.3 ^a	54.35±9.44 ^{bc}

Values followed by different letter in the same row are significantly different (P<0.05).

Table 3. Color and Sensorial analysis using a Ranking test of crumb of pound cake

values	Control	70-0	70-1	90-0	90-1
L	66.5±2.5 ^a	60.0±1.2 ^b	59.1±1.9 ^b	58.4±2.4 ^b	56.6±2.4 ^b
a	11.7±1.1 ^{ab}	11.0±1.3 ^{ab}	12.1±0.4 ^b	11.2±0.9 ^{ab}	10.6±1.3 ^a
b	20.5±1.4 ^a	18.7±0.6 ^{ab}	20.6±1.3 ^a	16.4±2.5 ^{bc}	16.1±2.3 ^c
Score liking*	1.28±0.53 ^d	2.60±1.04 ^b	3.41±0.88 ^a	1.72±0.97 ^c	2.26±0.87 ^b
Preference (%)**	38.1	65.0	85.3	43.0	56.5

* liking degree (1 less liked, 4 more liked). Values followed by different letter in the same row are significantly different (P<0.05). ** The preference considers the consistency of crumb, softness, flavour.

Table 4. Fatty acid profile

Formula (*fp °C)	C8:0 (16.7)	C10:0 (31.6)	C12:0 (44.2)	C14:0 (54.4)	C16:0 (63.0)	C18:0 (69.4)	C18:1 (13.0)	C18:2 (-5.0)	C18:3 (-11.0)	C20:4 (-49.5)
Control	0.76	0.79	11.07	3.92	20.78	9.11	20.18	25.41	3.0	0.27
70-1	0.20	0.22	3.21	1.25	10.91	4.81	37.19	20.61	14.62	0.42

*fp (fusion point)